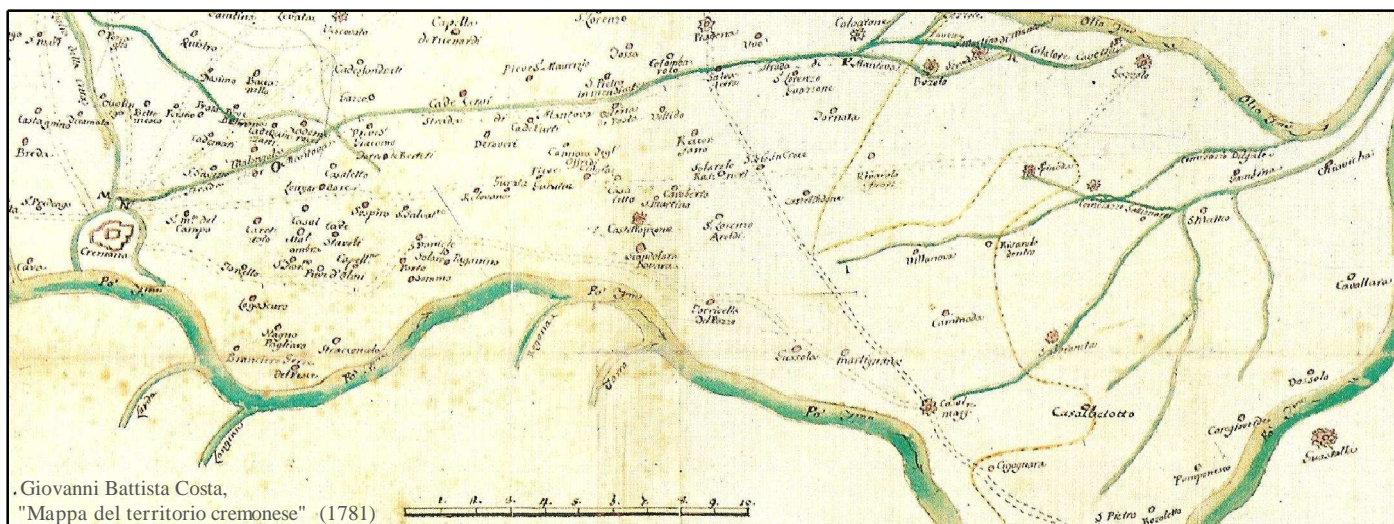




Provincia di  
Cremona

**RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO PER I  
TERRITORI DELLA PROVINCIA DI CREMONA  
AFFERENTI AL RETICOLO IDRICO PRINCIPALE  
FREGALINO - FOSSADONE E CHE COINVOLGE PARTE  
DEI COMUNI DEL TERRITORIO CREMONESE ORIENTALE**



**STUDIO IDROLOGICO IDRAULICO**



Largo 24 Agosto 1942, 33/A - 43100 Parma  
Tel/Fax 0521-292795  
studiotelo@studiotelo.it - www.studiotelo.it

TITOLO ELABORATO

**RELAZIONE IDROLOGICA  
E IDRAULICA**

N°ELABORATO

**A**

SCALA

IL RESPONSABILE DELLO STUDIO

Ing. Riccardo Telò

**STUDIO TELO' surl**  
Largo 24 agosto 1942, 33/A - 43100 Parma  
Tel./Fax 0521 - 292795  
Cod. Fisc. e Part. IVA 02229670340  
studiotelo@studiotelo.it  
www.studiotelo.it

AGGIORNAMENTI:

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTROLL.	APPROVATO
0	Nov. 2011	EMISSIONE	Ing. Delsoldato	Ing. Telò	Ing. Telò
1	Mag. 2012	RECEPIMENTO OSSERVAZIONI DEI COMUNI	Ing. Delsoldato	Ing. Telò	Ing. Telò



## INDICE



1	PREMESSA.....	3
2	INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO DI RIFERIMENTO MORFOLOGICO E IDROGRAFICO E DELLE CRITICITÀ NOTE .....	5
3	INQUADRAMENTO DEL RETICOLO IDROGRAFICO AFFERENTE ALLA PORZIONE ORIENTALE DELLA PROVINCIA DI CREMONA.....	6
3.1	INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDRAULICO .....	6
3.2	CRITICITÀ DEL RETICOLO IDROGRAFICO IN STUDIO.....	9
4	DINAMICA DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI/ DEFLUSSI .....	10
4.1	PREMESSA.....	10
4.2	ANALISI PLUVIOMETRICA .....	10
4.3	VALUTAZIONE DELLE PERDITE IDROLOGICHE.....	16
4.4	IL MODELLO NUMERICO UTILIZZATO .....	19
4.4.1	Introduzione.....	19
4.4.2	Il Modulo “Runoff” di SWMM .....	20
4.4.3	Evaporazione.....	20
4.4.4	Infiltrazione .....	21
4.4.5	Propagazione del flusso superficiale.....	21
4.4.6	I flussi sotterranei.....	25
4.4.7	Il modulo “extran” di SWMM (propagazione nel reticolo idrografico) .....	27
4.4.8	Adattamento del modello idrologico SWMM.....	28
4.5	RISULTATI ANALISI DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI/ DEFLUSSI .....	30
4.5.1	Evento pluviometrico di durata 12 h e tempo di ritorno pari a 100 anni.....	30
4.5.1.1	Colo Fregalino e Bonetti .....	33
4.5.1.2	Colo Reale e Fossadone .....	37
4.5.2	Evento pluviometrico di durata 12 h e tempo di ritorno pari a 20 anni.....	39
4.5.3	Evento pluviometrico di durata 12 h e tempo di ritorno pari a 5 anni .....	42
5	VERIFICA IDRAULICA DELLO STATO DI FATTO .....	44
5.1	DESCRIZIONE GEOMETRICA DEL RETICOLO FREGALINO –BONETTI – FOSSADONE AI FINI MODELLISTICI .....	44



---

5.2	IL MODELLO MATEMATICO IDRODINAMICO.....	45
5.3	LE IPOTESI DEL CALCOLO IDRAULICO .....	47
5.4	OBBIETTIVI DELL' ANALISI IDRODINAMICA.....	48
5.5	SCENARI DI CALCOLO E PORTATE IN INGRESSO.....	48
5.6	RISULTATI ANALISI IDRAULICA.....	49
5.6.1	Scenario 1 .....	49
5.6.2	Scenario 2 .....	63
5.6.3	Scenario 3 .....	74
6	INDIVIDUAZIONE DEI RISCHI E GERARCHIZZAZIONE DELLE CRITICITÀ.....	86
7	INDICAZIONI PER LO SVILUPPO URBANO SOSTENIBILE IN TERMINI DI RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO .....	89
7.1	INDIVIDUAZIONE DEI CRITERI GENERALI FUNZIONALI ALLA MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO..	89
7.2	IL CRITERIO DELL' INVARIANZA DELLA PORTATA .....	91



## 1 PREMESSA

I recenti accadimenti alluvionali, del 4 e 5 Maggio 2010 e soprattutto il successivo del 15 - 16 giugno 2010, hanno messo in evidenza la fragilità del sistema idrico di scolo della pianura cremonese. Le piogge del giugno 2010, che in talune stazioni di misura hanno raggiunto valori storici con TR pari a 200 anni (Idrometro gestito da AEM S.p.A. posto in Via Postumia a Cremona Rif. Figura 1-2), sono durate per circa una trentina di ore ed hanno provocato allagamenti in molti comuni della provincia compreso il capoluogo.



FIGURA 1-1 L'EFFETTO DELL'EVENTO PLUVIOMETRICO DEL 15- 16 GIUGNO 2010 IN CORRISPONDENZA DEL CAVO REALE

A seguito di questi eventi alluvionali, sono

stati organizzati tavoli tecnici di incontro tra Prefettura e le amministrazioni locali e sovraordinate allo scopo di individuare le problematiche idrauliche principali e intraprendere un percorso di collaborazione e di coordinamento finalizzato alla riduzione del rischio di allagamento del territorio.

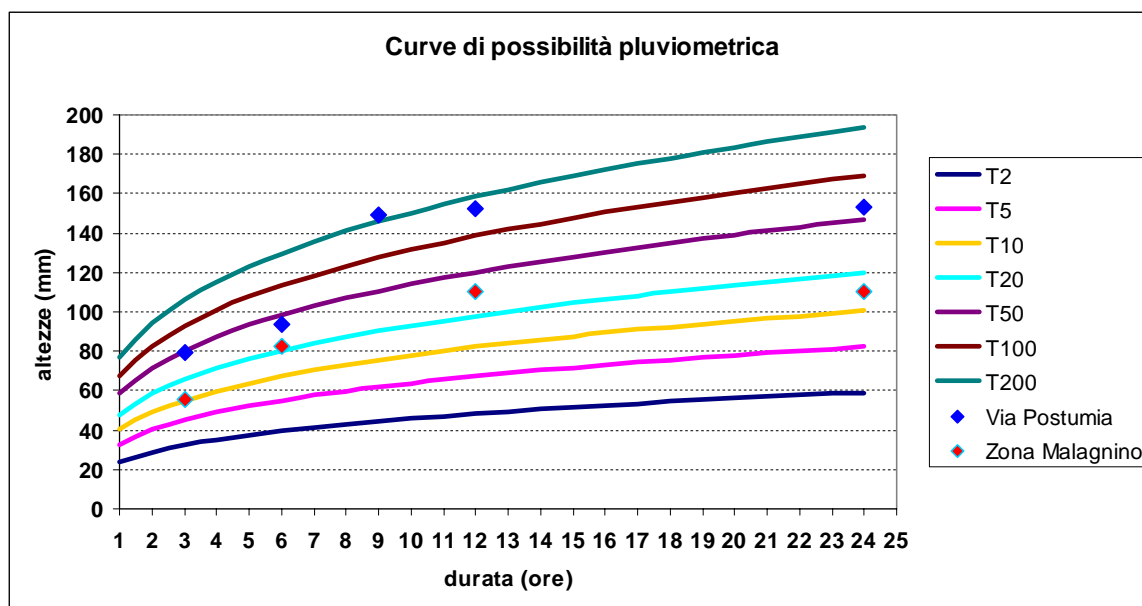


FIGURA 1-2 RAFFRONTO TRA GLI EVENTI PLUVIOMETRICI DEL 15-16 GIUGNO 2010 E LE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA FORNITE DA ARPA LOMBARDIA E RELATIVE ALLA PORZIONE ORIENTALE DEL COMUNE DI CREMONA





In particolar modo il ruolo di coordinamento è stato conferito alla Protezione Civile della Provincia di Cremona.

Il presente lavoro, conferito proprio da questo Ente allo Studio di Ingegneria scrivente, integra ed approfondisce le analisi di trasformazione Afflussi in Deflussi e quindi idrodinamiche nel reticolo idrografico dei territori della Pianura Cremonese orientale.

Si prosegue un cammino già intrapreso e condotto sempre dallo studio scrivente per conto dell'azienda municipalizzata A.E.M. S.p.A., braccio operativo del Comune di Cremona, su Finanziamento della Regione Lombardia, che ha interessato il reticolo dei canali afferenti alla città di Cremona (attraverso il Cavo Morbasco e Cerca e i Navigli Civico e Robecco).

Nello specifico, la presente relazione, è finalizzata a individuare e gerarchizzare le principali criticità idrauliche presenti nello stato attuale sulla porzione orientale del territorio cremonese, a comprendere le cause generatrici di tali criticità allo scopo di poter, in una fase successiva, individuare le possibili soluzioni progettuali. L'indagine si è concentrata nelle aree maggiormente colpite dal fenomeno alluvionale del giugno 2010 ed afferenti al reticolo principale di colo denominato "Fregalino - Fossadone".

Questa ampia porzione di pianura che si estende dall'abitato di Cremona verso est è caratterizzata da un sistema idrico che, è opportuno precisare, è principalmente di bonifica, quindi costruito per reggere l'afflusso di eventi di pioggia con TR=25 anni o poco più elevati. Quello del 2010 viceversa è stato, come ricordato, un evento addirittura plurisecolare, quindi difficilmente sostenibile non solo da questi canali ma anche da qualunque altro canale o fosso della pianura padana. Infatti anche i vicini territori parmensi, sebbene colpiti in misura meno



FIGURA 1-3 EVENTO DEL 15 - 16 GIUGNO 2010 DISSESTO SUL RILEVATO STRADALE DI VIA VILLETTA A CREMONA

violenta (Fontanellato, Roccabianca, Busseto), hanno avuto problematiche di allagamento diffuse con danni importanti e paralisi della circolazione e delle attività produttive.



---

## 2 INTEGRAZIONE DEL QUADRO CONOSCITIVO DI RIFERIMENTO MORFOLOGICO E IDROGRAFICO E DELLE CRITICITÀ NOTE

---

Scopo di questa fase è di predisporre uno strumento conoscitivo in grado di definire preliminarmente le criticità idrauliche, dovute all'insufficiente sezione di deflusso dei canali di scolo o all'impossibilità di recapitare negli stessi le portate drenate dai territori. Il reticolo idrico in esame, come già anticipato in premessa, afferisce al sistema Fregalino – Bonetti - Fossadone.

Si tratta di un insieme di canali, fossi e rogge interagenti tra di loro in un mosaico intrecciato di storica memoria tipico della bassa pianura cremonese. I primi rilievi risalgono agli inizi del secolo scorso e poi nel tempo sono stati via via integrati dal Consorzio di Bonifica Dugali, principale Gestore di questa complessa rete idrica. La mole di informazione raccolte, per lo più su supporto cartaceo, risale agli inizi degli anni ottanta e ben complesso è stato il poter interfacciare queste informazioni al fine di disporre di un Quadro Conoscitivo d'insieme sufficiente per l'elaborazione delle attività successive. Per questa ragione si è resa necessaria l'integrazione dei dati raccolti, attraverso un'estesa campagna topografica svolta dallo studio Geo3 S.r.l. Il rilievo finanziato dai comuni partecipanti all'intervento e dal consorzio di Bonifica Dugali ha interessato numerosi canali aventi prevalentemente funzione scolante: Fregalino Dugali, Gambara, Bonetti, Canziana, Fossadone, Fregalinetto, Reale, Realino, Paloschino, Bissolina Ramo Malagnino, Dosolo, Bagarotta, Tagliata e Bissolina Ramo Persico. Sono state rilevate circa 210 sezioni a copertura di un fittissimo reticolo idrografico costituito da numerosi manufatti e infrastrutture di regolazione (paratoie, ponti canali, attraversamenti poderali, botti a sifone) che coinvolgono l'idrodinamismo di un'estesa porzione della pianura cremonese orientale (di circa 6.000 ha di estensione).

Per quanto concerne gli aspetti funzionali e di gestione degli elementi di regolazione e controllo del reticolo idrico, ci si è riferiti alle specifiche indicazioni fornite dal Consorzio di Bonifica Dugali che ha fornito una preziosa disponibilità attraverso il proprio personale tecnico. Tali indicazioni hanno permesso di formulare le ipotesi necessarie alla definizione di un quadro idrologico e idraulico complessivo, necessario per la simulazione dello scenario attuale.



---

## 3 INQUADRAMENTO DEL RETICOLO IDROGRAFICO AFFERENTE ALLA PORZIONE ORIENTALE DELLA PROVINCIA DI CREMONA

---

### 3.1 INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDRAULICO

---

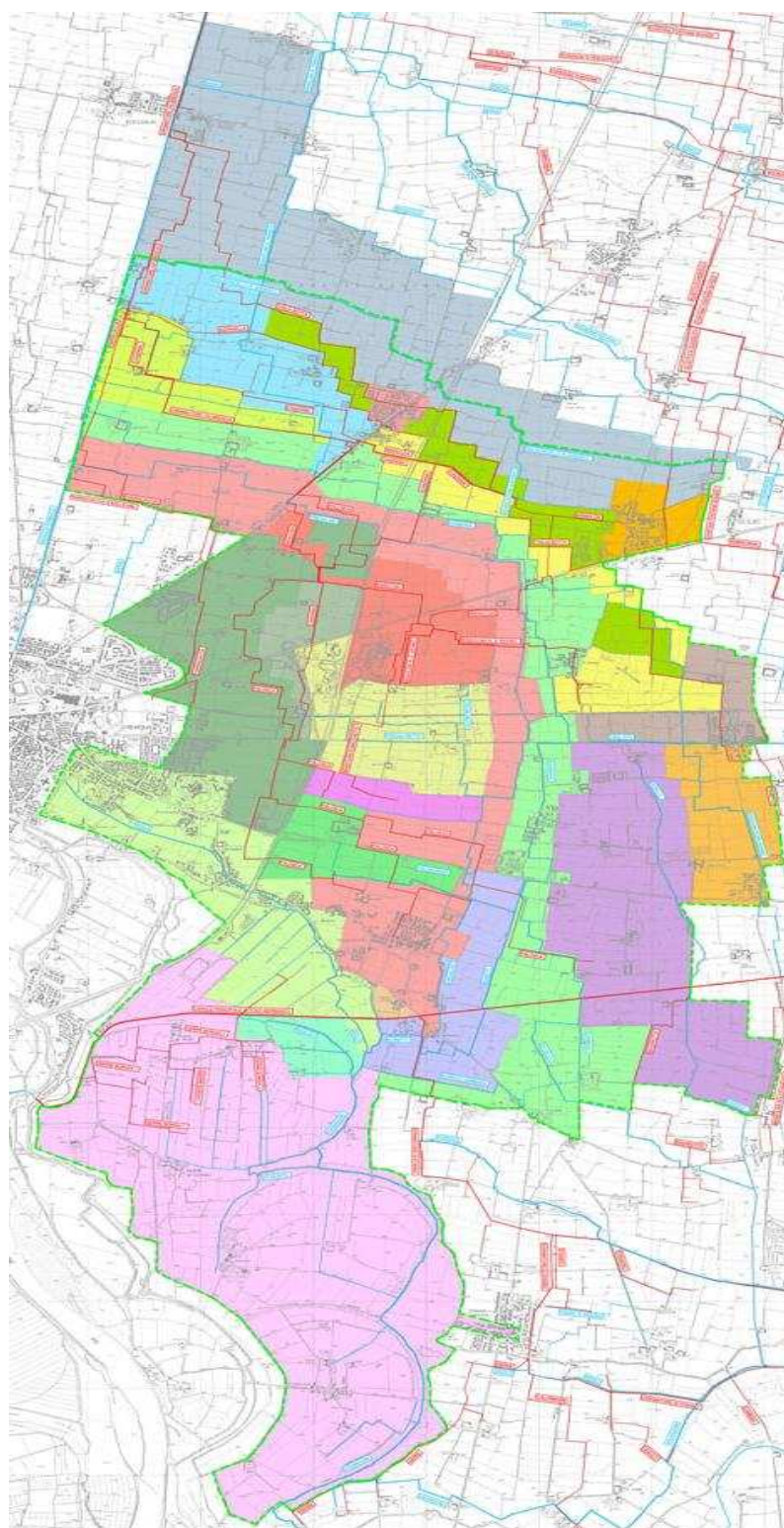
Il reticolo idrografico afferente alla parte Est del territorio Cremonese drena le acque superficiali secondo la direzione imposta dall'andamento morfologico del terreno e, seppur oggetto di innumerevoli modifiche ed interventi antropici, mantiene una direzione prevalente nord-ovest – sud-est attratto dalle depressioni vallive generate dai fiumi Po e Oglio.

L'insieme dei corsi d'acqua, nelle aree in esame, si presenta come una rete idrica collegata tramite innumerevoli opere di presa, scolmatori, confluenze, derivazioni, in buona parte gestiti dal Consorzio Dugali; per tale ragione, la definizione di un quadro conoscitivo esaustivo e sufficientemente dettagliato ha richiesto un'approfondita indagine sul campo tramite ulteriori sopralluoghi e misurazioni, oltre alla continua interfaccia con i tecnici del Consorzio.

Focalizzandosi sui corsi d'acqua ricadenti nella porzione orientale dell'abitato di Cremona, il reticolo idrografico è caratterizzato dal cavo Fregalino quale principale corso d'acqua che prosegue immettendosi nel cavo Bonetti e quindi nel Fossadone, per scaricare infine le proprie acque nel fiume Po.

Questo corso d'acqua attraversa i territori dei comuni di: Cremona, Persico - Dosimo, Gadesco – Pieve - Delmona, Malagnino, Bonemerse, Stagno Lombardo e Gerre De' Caprioli, dapprima scorrendo in direzione est per aggirare l'abitato cittadino capoluogo di Provincia, quindi piegando verso sud in corrispondenza del confine amministrativo orientale del Comune di Cremona. L'ultimo tratto (Fossadone) scorre prevalentemente sul sedime di vecchi meandri del fiume Po, oggi esterni all'argine maestro e scarica le proprie acque pochi chilometri più a sud, dopo aver oltrepassato un manufatto chiavicale antirigurgito.

Il cavo Fossadone raccoglie i contributi di altri corsi d'acqua tra cui alcuni colli (Fregalinetto, Paloschino, Gambarà, Reale, Realino) e altri corsi d'acqua aventi anche funzione irrigua (Palosca, Canziana, Bissolina) oltre ovviamente agli scarichi di troppo pieno di molte altre rogge che distribuiscono l'acqua per l'irrigazione del territorio. L'elaborato grafico n. 2, allegato alla presente relazione, riporta la suddivisione dell'areale in studio in funzione del bacino idrografico di competenza e l'estensione degli stessi (Figura 3-1).



BACINO FREGALINO - FOSSADONE		
COLORAZIONE SOTTOBACINI	DENOMINAZIONE SOTTOBACINI	SUPERFICI nuove (m <sup>2</sup> )
	Bacino BISSOLINA	1,728,343.10
	Bacino BISSOLINA MALAGNINO	2,112,201.17
	Bacino BISSOLINA PERSICO	2,028,864.30
	Bacino BISSOLINA PERSICO RAMO I	1,187,138.80
	Bacino BONETTI	1,563,902.70
	Bacino BONETTI RAMO I	98,558.00
	Bacino CANZIANA	970,035.30
	Bacino DELMONCELLO	234,589.25
	Bacino DELMONCELLO GADESCO	4,188,861.38
	Bacino DOSOLO	5,188,088.55
	Bacino DUE PONTI	701,844.79
	Bacino FOSSADONE	11,535,945.48
	Bacino FREGALINETTO	1,717,924.60
	Bacino FREGALINO	5,836,897.60
	Bacino FREGALINO RAMO I	510,207.30
	Bacino GAMBARA	5,809,713.00
	Bacino PALOSCA	4,184,982.80
	Bacino REALE	4,540,032.60
	Bacino REALINO	548,317.70
	Bacino TAGLIATA	3,776,491.05
	Bacino PALOSCHINO	683,035.80

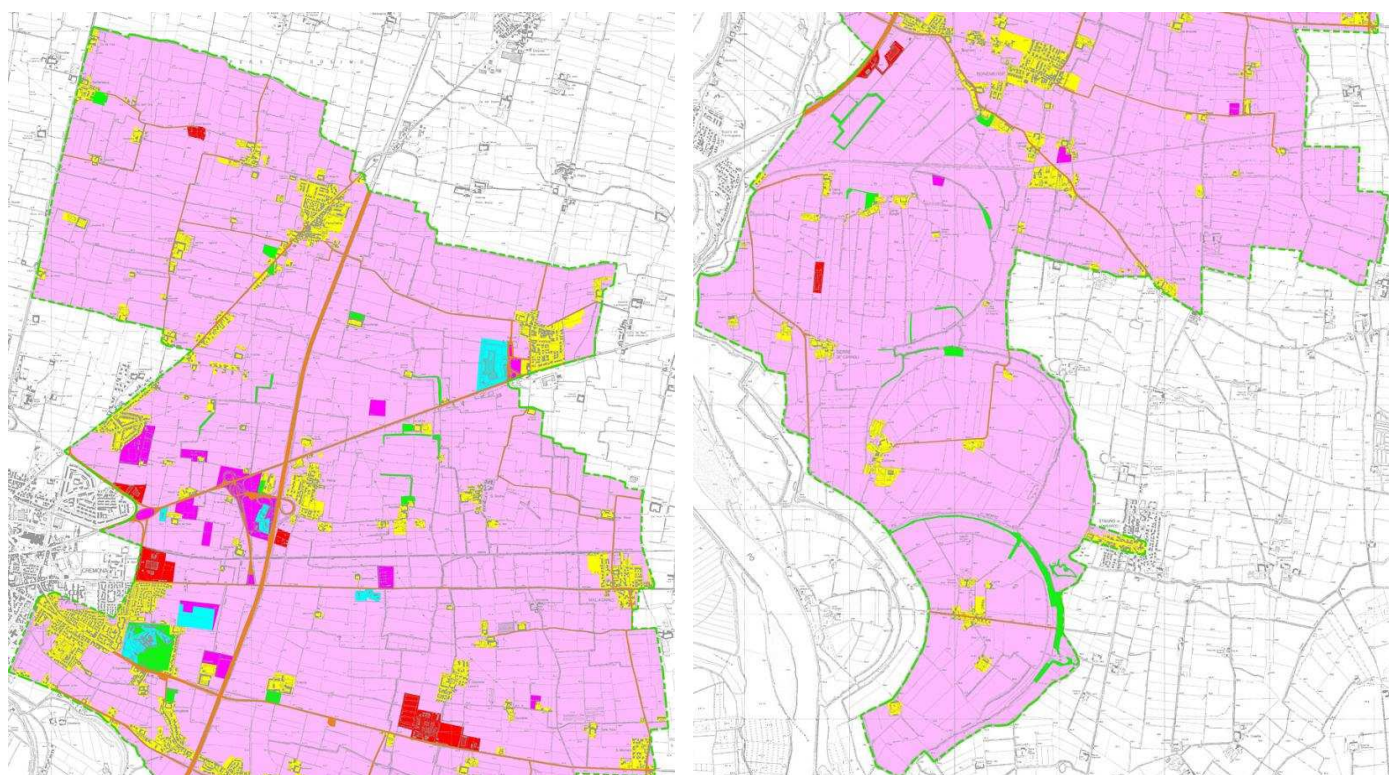
**FIGURA 3-1** INDIVIDUAZIONE DEI BACINI SOLANTI E PRINCIPALI CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEGLI STESSI

Il reticolo idrografico in esame consiste in una rete di canali e corsi d'acqua interdipendenti attraverso un articolato sistema di scolmatori, diversivi, diramazioni e confluenze, in buona parte governati da





manufatti regolabili. In tale contesto, i bacini imbriferi di pertinenza di ciascun corso d'acqua non si presentano, in realtà, come unità idrografiche indipendenti, ma presentano apporti idrologici provenienti da corsi d'acqua affluenti e, allo stesso modo, perdite idrologiche per via del sistema di scolmatori e diversivi che deviano una parte delle portate verso ulteriori corsi d'acqua. Per tale ragione, quelli individuati sono bacini idrologici definibili prevalenti, ovvero delimitano la porzione di territorio le cui acque sono prevalentemente drenate sino alla sezione di chiusura di interesse per i corsi d'acqua oggetto di studio. Gli effetti degli ulteriori apporti idrologici sono stati considerati imponendo ingressi puntuali di portate, mentre le portate sottratte da manufatti scolmatori e/o diversivi sono state stimate direttamente mediante l'analisi idrodinamica del reticolo idrografico, modellando opportunamente gli stessi scolmatori. Ciascun sottobacino così definito è stato ulteriormente caratterizzato in termini di uso del suolo. La Figura 3-2 riporta alcuni scorci dell'elaborato grafico n. 3 allegato alla presente relazione.



BACINO FREGALINO - FOSSADONE													
SUPERFICIE TOTALE (m <sup>2</sup> )	USO DEL SUOLO												
	Coltivato		Bosco		Residenziale		Commerciale - Parcheggi		Industriale		Pascoli		
	m <sup>2</sup>	%	m <sup>2</sup>	%	m <sup>2</sup>	%	m <sup>2</sup>	%	m <sup>2</sup>	%	m <sup>2</sup>	%	
43,172,734.72	37,083,144.22	86%	574,408.84	1%	3,575,037.24	8%	349,826.22	1%	445,897.07	1%	492,231.35	1%	

FIGURA 3-2 CARATTERISTICHE DI USO DEL SUOLO DELL' AREA IN STUDIO E TABELLA RIEPILOGATIVA



### 3.2 CRITICITÀ DEL RETICOLO IDROGRAFICO IN STUDIO

Il reticolo principale individuato determina nello stato attuale condizioni di rischio idraulico per i territori attraversati, ne sono testimonianza le numerose esondazioni avvenute gli scorsi 4-5 Maggio e 15-16 giugno 2010 che hanno interessato la quasi totalità degli abitati della pianura cremonese orientale. Attraverso la cartografia, gentilmente concessa, dal Consorzio di Bonifica Dugali e successivamente validata tramite la gentile collaborazione dei funzionari tecnici delle Amministrazioni locali, è stato possibile individuare le criticità idrauliche principali riportate nell'allegato 1 alla presente relazione "Planimetria reticolo idrografico e aree allagate" (Figura 3-3).

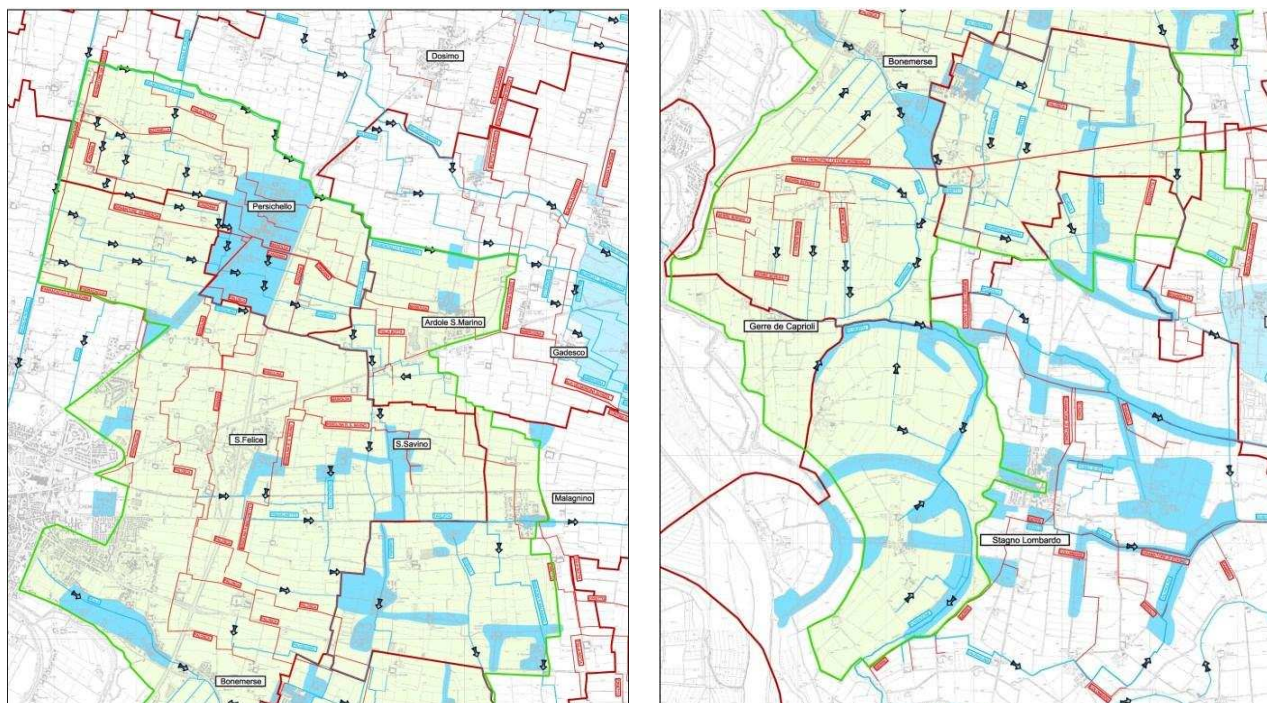


FIGURA 3-3 AREE ALLAGATE DURANTE GLI EVENTI PLUVIOMETRICI DEL 4-5 MAGGIO E 16 GIUGNO 2011

In particolare, i centri abitati interni al bacino Fregalino Fossadone (perimetrato con colore verde nella Figura 3-3) che hanno presentato le maggiori criticità durante gli eventi pluvio-metrici citati sono: S. Felice, S. Savino, Ardole S. Marino, Persichello, Bonemerse Malagnino, Gerre De' Caprioli e Stagno Lombardo.





---

## 4 DINAMICA DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI/DEFLUSSI

---

### 4.1 PREMESSA

---

L'analisi idrologica persegue l'obiettivo di descrivere nel dettaglio la formazione dei deflussi di piena all'interno delle porzioni di territorio prevalentemente afferenti al reticolo idrico in esame ed il loro trasferimento all'interno della rete di scolo. In questo modo si determinano le criticità idrauliche in termini di fenomeni di esondazione ed insufficienti sezioni di deflusso, e quindi si individuano e dimensionano gli opportuni interventi di mitigazione.

A tale scopo, è stato utilizzato lo stesso modello di trasformazione afflussi/ deflussi adottato per i territori posti a nord e ad ovest dell'abitato di Cremona, rispettivamente afferenti ai cavi Cerca e Morbasco. I corsi d'acqua facenti parte di questa porzione di pianura dell'Est cremonese sono: il Fregalino Dugali, Gambara, Bonetti, Fossadone, Fregalinetto, Reale Realino, Paloschino, Bissolina Ramo Malagnino e ramo Persico e il Dosolo tutti interconnessi e mutuamente interagenti dal punto di vista idrodinamico con i precedenti.

Partendo dalle analisi idrologiche svolte nella precedente fase di studio, si è passati all'interpretazione delle dinamiche di trasformazione A/ D con il metodo di calcolo SWMM al fine di stimare la formazione e propagazione dei deflussi di piena per il tempo di ritorno di riferimento prefissato.

Lo studio è stato impostato sul seguente schema:

- definizione degli ietogrammi di pioggia ottenuti dalla ricostruzione delle curve di possibilità pluviometrica per l'areale in studio;
- valutazione delle perdite idrologiche, tramite il metodo Curve Number dell'U.S. Soil Conservation Service;
- Stima delle portate defluite nei vari corsi d'acqua tramite modello SWMM (Storm Water Management Model), sviluppato e aggiornato dall'agenzia federale statunitense per la protezione dell'ambiente U.S. E.P.A (versione 5.0.22);
- Taratura del modello SWMM sull'evento di piena del 15-16 giugno 2010.

### 4.2 ANALISI PLUVIOMETRICA

---

Le analisi pluviometriche riprendono il quadro conoscitivo meteorologico degli studi citati nei paragrafi precedenti e si basano sulla ricostruzione delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica elaborate a



cura dell'ARPA Lombardia.

La dipendenza di tali linee, espresse in mm di pioggia, dalla durata  $D$  dell'evento pluviometrico è funzione di tre parametri secondo la formula:

$$h_T(D) = a_1 w_T D^n$$

Le immagini seguenti mostrano l'andamento qualitativo dei tre parametri  $a_1$ ,  $w_{100}$  e  $n$  per la definizione delle linee di possibilità pluviometrica sull'intero territorio della Regione Lombardia, per eventi con  $TR$  pari a 100 anni e durate comprese tra 1 e 24 ore.

Le elaborazioni pluviometriche a scala locale hanno, quindi, fatto riferimento ai dati forniti da ARPA Lombardia relativi a tre località, Persichello, Bonemerse e Stagno Lombardo, ubicate rispettivamente a nord, centro e sud del bacino di interesse in modo tale da circoscrivere pressoché totalmente gli areali oggetto dell'indagine idrologica.

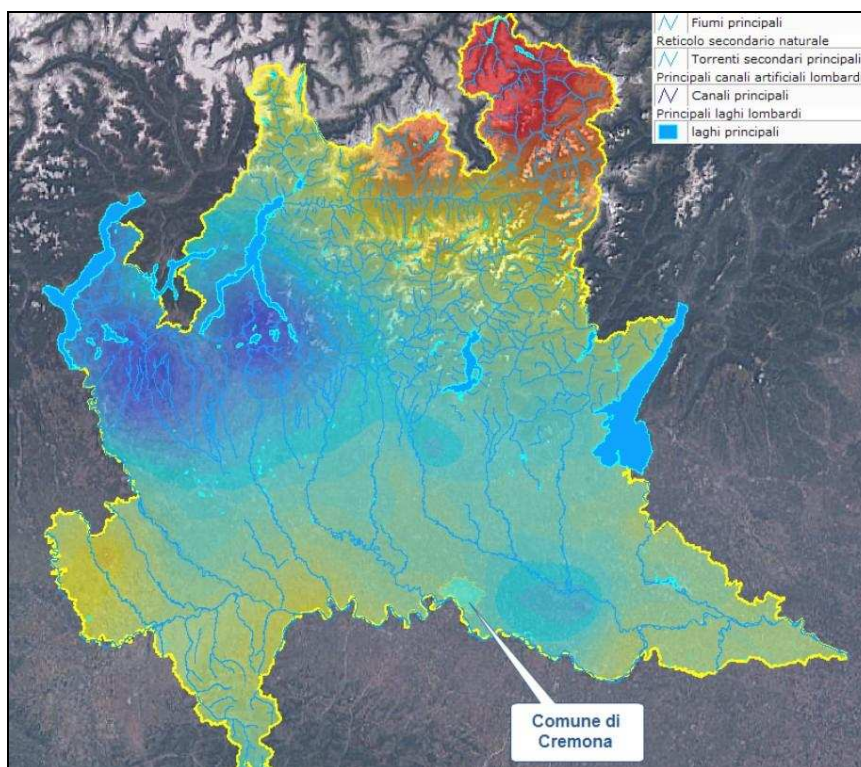


FIGURA 4-1: ANDAMENTO QUALITATIVO DEL PARAMETRO  $a_1$  PER LA DEFINIZIONE DELLE LINEE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA PER DURATE TRA 1 E 24 ORE SULL'INTERO TERRITORIO REGIONALE (ARPA LOMBARDIA)



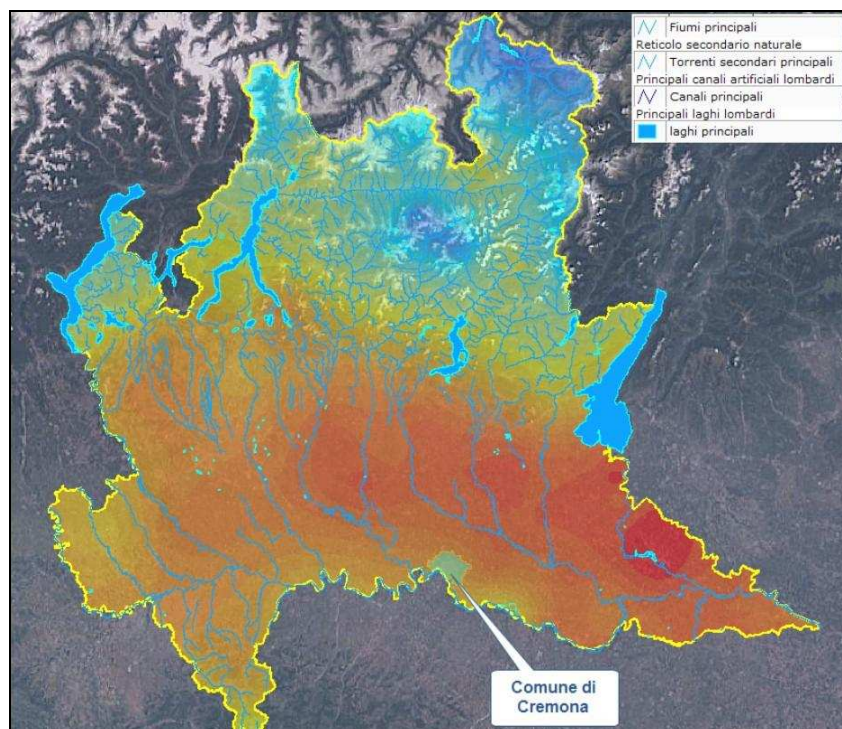


FIGURA 4-2: ANDAMENTO QUALITATIVO DEL PARAMETRO  $N_1$  PER LA DEFINIZIONE DELLE LINEE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA PER DURATE TRA 1 E 24 ORE (ARPA LOMBARDIA)

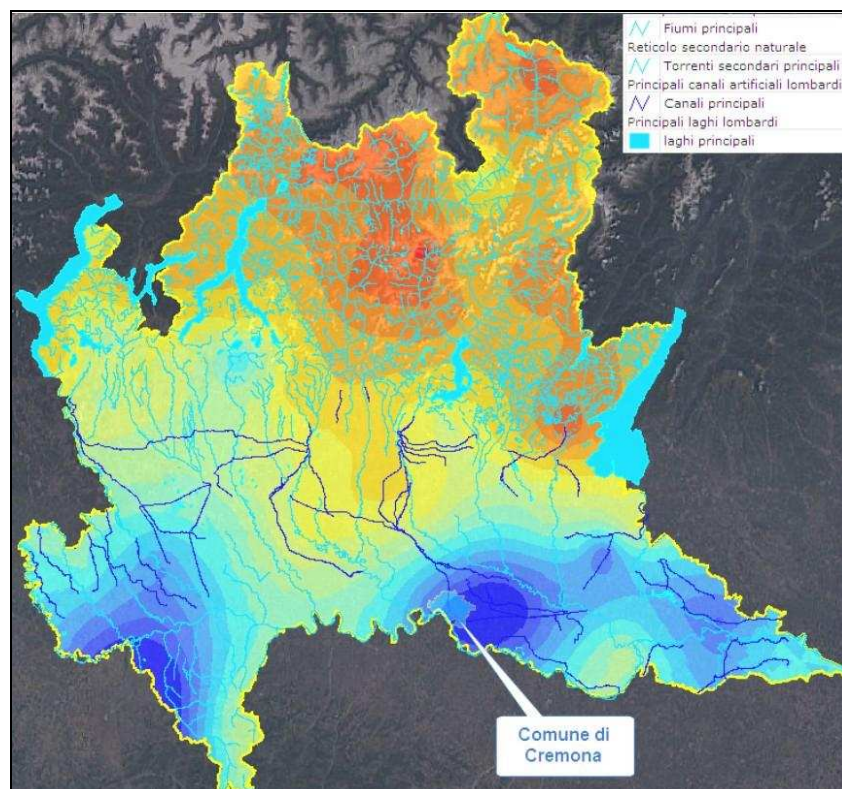


FIGURA 4-3: ANDAMENTO QUALITATIVO DEL PARAMETRO  $W_{100}$  PER LA DEFINIZIONE DELLE LINEE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA PER DURATE TRA 1 E 24 ORE E TR 100 ANNI (ARPA LOMBARDIA)



Le curve di possibilità pluviometrica utilizzate per le successive analisi idrologiche afflussi-deflussi sulle aree di interesse sono tabellate e illustrate nelle immagini seguenti.

LSPP 1 - 24 ore - Persichello							
wT	w2	w5	w10	w20	w50	w100	w200
	0.90315	1.25466	1.53232	1.82383	2.23468	2.57565	2.94376
ore	T=2	T=5	T=10	T=20	T=50	T=100	T=200
1	24.71	34.33	41.93	49.90	61.15	70.47	80.55
2	29.92	41.56	50.76	60.42	74.03	85.33	97.52
3	33.46	46.48	56.77	67.57	82.79	95.43	109.07
4	36.23	50.32	61.46	73.15	89.63	103.31	118.08
5	38.53	53.52	65.36	77.80	95.33	109.87	125.57
6	40.51	56.28	68.74	81.81	100.24	115.54	132.05
7	42.27	58.73	71.72	85.37	104.60	120.56	137.79
8	43.86	60.93	74.42	88.57	108.52	125.08	142.96
9	45.31	62.94	76.87	91.50	112.11	129.21	147.68
10	46.65	64.80	79.14	94.20	115.42	133.03	152.04
11	47.89	66.53	81.25	96.71	118.49	136.57	156.09
12	49.05	68.14	83.22	99.06	121.37	139.89	159.88
13	50.15	69.66	85.08	101.27	124.08	143.01	163.45
14	51.18	71.10	86.84	103.36	126.64	145.97	166.83
15	52.17	72.47	88.51	105.35	129.08	148.77	170.03
16	53.10	73.77	90.10	107.24	131.40	151.44	173.09
17	54.00	75.02	91.62	109.05	133.61	154.00	176.01
18	54.86	76.21	93.07	110.78	135.74	156.45	178.81
19	55.68	77.35	94.47	112.45	137.78	158.80	181.49
20	56.48	78.46	95.82	114.05	139.74	161.06	184.08
21	57.24	79.52	97.12	115.59	141.63	163.24	186.58
22	57.98	80.55	98.37	117.09	143.46	165.35	188.99
23	58.70	81.54	99.59	118.53	145.23	167.39	191.32
24	59.39	82.50	100.76	119.93	146.95	169.37	193.58

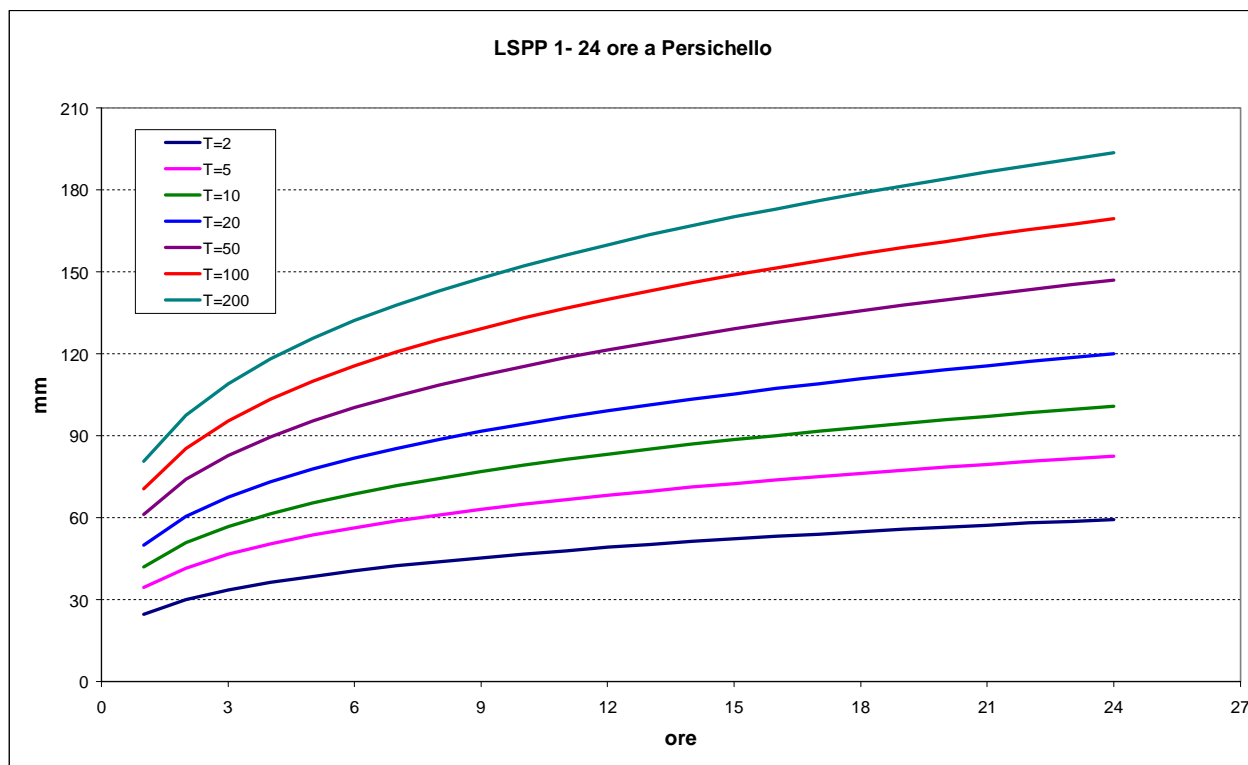


FIGURA 4-4 – LINEE SEGNALETTRICI DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA A PERSICHELLO



LSPP 1 - 24 ore - Bonemerse							
wT	w2	w5	w10	w20	w50	w100	w200
	0.90083	1.25804	1.54227	1.84011	2.26001	2.60892	2.98584
ore	T=2	T=5	T=10	T=20	T=50	T=100	T=200
1	24.73	34.53	42.33	50.51	62.04	71.61	81.96
2	30.23	42.22	51.76	61.76	75.85	87.56	100.21
3	34.01	47.49	58.22	69.46	85.32	98.49	112.72
4	36.97	51.62	63.29	75.51	92.74	107.06	122.53
5	39.44	55.08	67.52	80.56	98.94	114.22	130.72
6	41.58	58.07	71.19	84.93	104.31	120.42	137.82
7	43.48	60.72	74.44	88.82	109.08	125.93	144.12
8	45.20	63.12	77.38	92.32	113.39	130.90	149.81
9	46.77	65.31	80.07	95.53	117.33	135.45	155.02
10	48.22	67.34	82.56	98.50	120.97	139.65	159.83
11	49.57	69.23	84.87	101.26	124.37	143.56	164.31
12	50.84	71.00	87.04	103.85	127.54	147.23	168.51
13	52.03	72.67	89.08	106.29	130.54	150.69	172.46
14	53.16	74.24	91.02	108.59	133.38	153.97	176.21
15	54.24	75.74	92.86	110.79	136.07	157.08	179.77
16	55.26	77.18	94.61	112.88	138.64	160.05	183.17
17	56.24	78.55	96.29	114.89	141.10	162.89	186.42
18	57.18	79.86	97.90	116.81	143.46	165.61	189.54
19	58.09	81.12	99.45	118.65	145.73	168.23	192.53
20	58.96	82.34	100.94	120.43	147.91	170.75	195.42
21	59.80	83.51	102.38	122.15	150.02	173.18	198.20
22	60.61	84.64	103.77	123.81	152.06	175.53	200.89
23	61.40	85.74	105.11	125.41	154.03	177.81	203.50
24	62.16	86.81	106.42	126.97	155.95	180.02	206.03

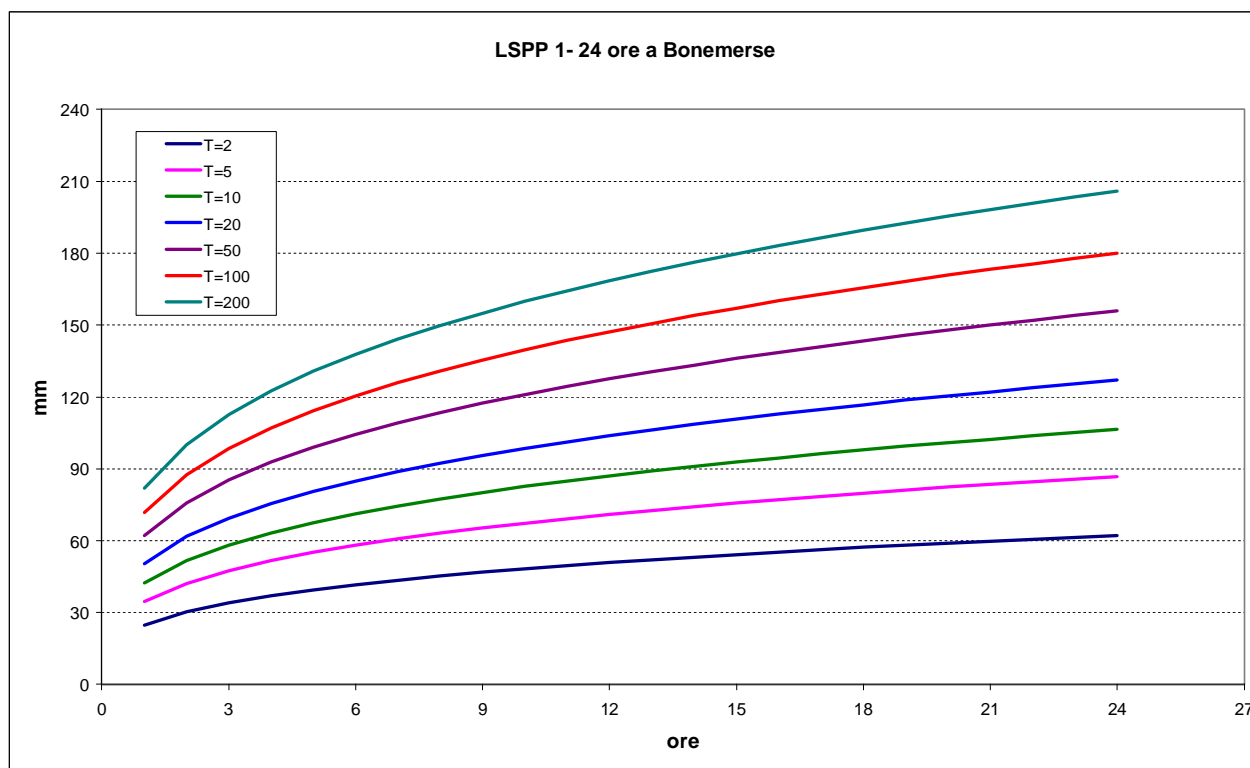


FIGURA 4-5 – LINEE SEGNALETRICI DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA A BONEMERSE



LSPP 1 - 24 ore - Stagno Lombardo								
wT	w2	w5	w10	w20	w50	w100	w200	
	0.90301	1.25897	1.53925	1.83004	2.23962	2.57933	2.94629	
ore	T=2	T=5	T=10	T=20	T=50	T=100	T=200	
1	24.81	34.59	42.29	50.28	61.54	70.87	80.95	
2	30.65	42.74	52.25	62.12	76.03	87.56	100.02	
3	34.69	48.36	59.13	70.30	86.04	99.09	113.19	
4	37.87	52.80	64.56	76.75	93.93	108.18	123.57	
5	40.54	56.52	69.10	82.16	100.55	115.80	132.27	
6	42.86	59.75	73.06	86.86	106.30	122.42	139.84	
7	44.92	62.63	76.57	91.04	111.42	128.32	146.57	
8	46.79	65.24	79.76	94.83	116.05	133.65	152.67	
9	48.50	67.62	82.68	98.30	120.30	138.54	158.25	
10	50.09	69.83	85.38	101.51	124.23	143.07	163.42	
11	51.56	71.89	87.90	104.50	127.89	147.29	168.24	
12	52.95	73.83	90.26	107.31	131.33	151.25	172.77	
13	54.26	75.65	92.49	109.97	134.58	154.99	177.04	
14	55.50	77.38	94.61	112.48	137.65	158.53	181.09	
15	56.68	79.03	96.62	114.87	140.58	161.91	184.94	
16	57.81	80.60	98.54	117.16	143.38	165.13	188.62	
17	58.89	82.10	100.38	119.34	146.05	168.21	192.14	
18	59.92	83.55	102.15	121.44	148.62	171.17	195.52	
19	60.92	84.94	103.84	123.46	151.10	174.01	198.77	
20	61.88	86.28	105.48	125.41	153.48	176.76	201.90	
21	62.81	87.57	107.06	127.29	155.78	179.41	204.93	
22	63.71	88.82	108.59	129.11	158.01	181.97	207.86	
23	64.58	90.03	110.08	130.87	160.16	184.46	210.70	
24	65.42	91.21	111.52	132.58	162.26	186.87	213.45	

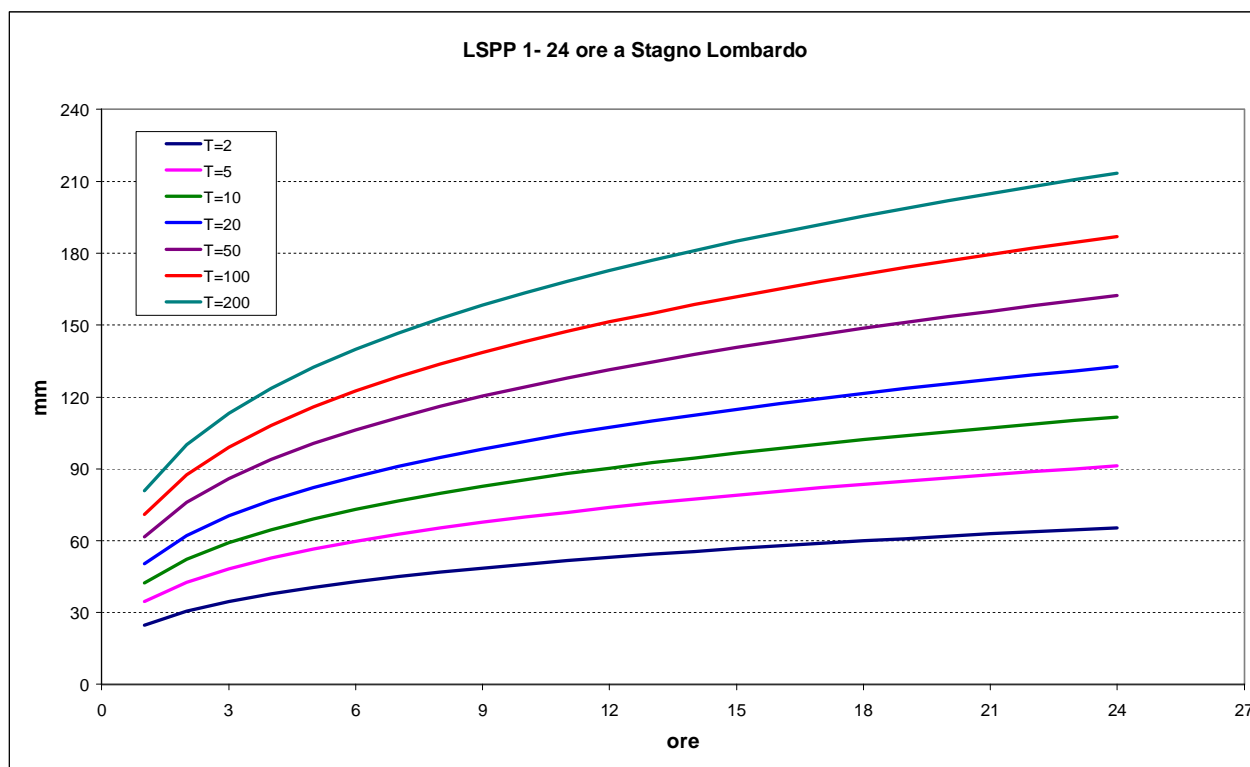


FIGURA 4-6 – LINEE SEGNALETRICI DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA A STAGNO LOMBARDO





---

Assumendo come eventi di progetto quelli aventi un tempo di ritorno di 100 anni, per ciascuna durata delle precipitazioni si è effettuata una correlazione spaziale a scala locale, tramite isoiete, tra le stazioni pluviometriche ed i bacini imbriferi preliminarmente delimitati, in modo da attribuire a ciascun sottobacino un valore di pioggia cumulata di riferimento, analogamente a quanto fatto nei precedenti stralci dello studio idrologico-idraulico complessivo.

### 4.3 VALUTAZIONE DELLE PERDITE IDROLOGICHE

---

Le principali cause di perdite idrologiche sono, come noto, l'evapotraspirazione, l'infiltrazione e l'immagazzinamento nelle depressioni superficiali.

Per la valutazione dal punto di vista quantitativo di tali grandezze è stato adottato il metodo Curve Number elaborato dal Soil Conservation Service (USA). Questo metodo ricava l'altezza di pioggia efficacemente defluita nel bacino in funzione del tipo di suolo, della sua capacità d'immagazzinamento e delle condizioni dello stesso prima dell'evento (terreno umido o asciutto). Sebbene originariamente non sia stato sviluppato per l'interpretazione della dinamica temporale delle perdite idrologiche, è ampiamente diffuso, soprattutto per la notevole mole di dati reperibili in letteratura per la sua applicazione.

Il coefficiente CN attribuisce ad ogni singola porzione di superficie del bacino idrografico, un valore adimensionale che ne caratterizza la risposta idrologica del suolo in funzione delle sue caratteristiche di permeabilità, d'uso e di copertura al fine di stimare il coefficiente di deflusso medio.

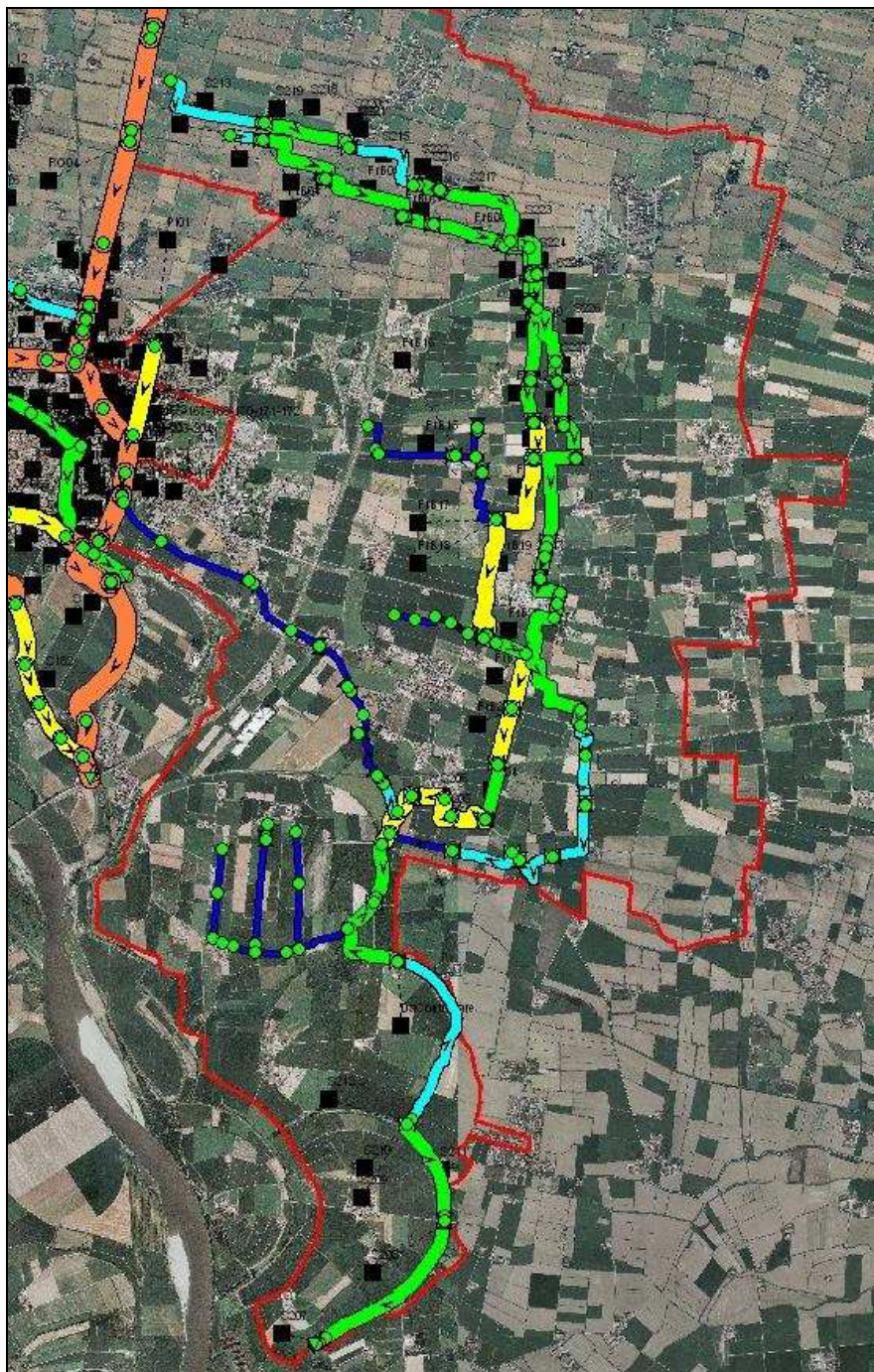


FIGURA 4-7 INQUADRAMENTO SU FOTO AEREA DEL RETICOLO IDROGRAFICO MODELLATO

La Tabella 4-1, riporta i valori proposti dal S.C.S.; questi presuppongono una condizione “media” dello stato d’umidità del suolo anteriormente all’evento pluviometrico. Il calcolo del CN è stato eseguito per ciascun sottobacino sfruttando le considerazioni di uso del suolo descritte nel paragrafo 3.1.



TABELLA 4-1 COEFFICIENTI CN PER VARIE COMBINAZIONI SUOLO-COPERTURA

Tipo di Uso del Suolo	Permeabilità del suolo			
	A	B	C	D
Suoli coltivati	62-72	71-81	78-88	81-91
Pascoli	39-68	61-79	74-86	80-89
Prati	30	58	71	78
Boschi e foreste con copertura modesta	45	66	71	83
Boschi o foreste con buona copertura dall'erosione e sottobosco	25	55	70	77
Affioramenti rocciosi	98	98	98	98
Area a parco e di fruizione ricreativa:				
- con copertura erbacea superiore al 75%	39	61	74	80
- con copertura erbacea dal 50% al 75%	49	69	79	84
Aree commerciali (impermeabili per l'85%)	89	92	94	95
Aree industriali (impermeabili per il 72%)	81	88	91	93
Aree residenziali con percentuale media impermeabile				
65%	77	85	90	92
38%	61	75	83	87
30%	57	72	81	86
25%	54	70	80	85
20%	51	68	79	84
Parcheggi, aree coperte	98	98	98	98
Strade:				
- asfaltate	98	98	98	98
- inghiaiate	76	85	89	91

Dove la permeabilità del suolo è definita secondo i seguenti criteri:

A = elevata infiltrazione, per suoli con strati sabbiosi o di loess profondi, a siltosi aggregati;

B = infiltrazione moderata, per suoli con tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana, quali limi sabbiosi;

C = infiltrazione lenta, per suoli con tessitura fine, quali argille limose, deboli strati di limo sabbioso, suoli con debole contenuto organico;

D = infiltrazione molto lenta, per argille plastiche e compatte.





---

## 4.4 IL MODELLO NUMERICO UTILIZZATO

---

### 4.4.1 INTRODUZIONE

Il modello dinamico SWMM (Storm Water Management Model), sviluppato e aggiornato dall'agenzia federale statunitense per la protezione dell'ambiente U.S. E.P.A, descrive quantitativamente la trasformazione delle piogge in deflussi superficiali sulla superficie di un bacino imbrifero ed in correnti idriche che confluiscono e si propagano lungo i collettori.

Matematicamente il processo è rappresentato dalla soluzione di un sistema di equazioni differenziali che governano il bilancio della massa liquida (equazione di continuità) e della corrispondente energia meccanica (equazione del moto) tanto per il deflusso che si sviluppa come lama d'acqua fluente sulla superficie di una area elementare per effetto della saturazione del suolo e del superamento della sua capacità di infiltrazione, quanto del deflusso che si sviluppa come corrente essenzialmente monodimensionale in ciascuno dei tronchi elementari costituenti i collettori drenanti. Oltre tali equazioni differenziali, il modello impone contemporaneamente, attraverso ulteriori equazioni, le condizioni al contorno, ed in particolare l'identità del livello in tutti gli estremi di canali che connettono lo stesso nodo, il legame tra livello raggiunto nei nodi, dimensione fisica delle confluenze e livelli idrici nei canali riceventi.

Le condizioni iniziali nel reticolo vengono invece calcolate sulla base delle condizioni al contorno che riguardano i corsi d'acqua riceventi e della portata iniziale in ogni condotto.

Per quanto riguarda il deflusso di superficie, il programma considera l'area utilizzata per la schematizzazione dell'intero bacino come un serbatoio non lineare con un singolo ingresso che rappresenta le precipitazioni, e con più uscite che rappresentano rispettivamente l'infiltrazione, l'evaporazione ed il deflusso superficiale. E' quest'ultima la componente maggiormente rappresentativa nel caso presente.

La capacità del serbatoio non lineare rappresenta la capacità massima d'accumulo sulle superfici del bacino, fornita principalmente dai micro e macro avvallamenti delle superfici e dal velo d'acqua presente sulle superfici bagnate, d'altezza variabile durante l'evento di pioggia.

Nella logica del modello il deflusso superficiale ha inizio solo quando il volume d'acqua nel





serbatoio supera la capacità d'accumulo superficiale, mentre l'infiltrazione (solo nella porzione permeabile della superficie) e l'evaporazione riducono continuamente il volume d'acqua accumulato nel serbatoio. L'infiltrazione viene modellata secondo il metodo CN del Soil Conservation Service (USA). Nei casi in cui l'infiltrazione e l'evaporazione risultino potenzialmente superiori alla precipitazione, il deflusso risulta ovviamente nullo. E' presente anche la componente di deflusso ipodermico e di base, derivante dalla schematizzazione della regione sotterranea come due serbatoi non lineari interconnessi; tale elemento, introdotto quando si dispone di osservazioni in continuo delle piogge, può simulare anche gli scambi idrici fra falda freatica e corso d'acqua, ma riveste una importanza trascurabile nella simulazione di singoli eventi di piena, come quelli analizzati in questo studio, perché i tempi di risposta dei due serbatoi sotterranei eccedono largamente quelli del ruscellamento superficiale, fornendo un contributo al deflusso totale che diviene significativo solo in regime fluviale di morbida e magra.

Il processo appena descritto, elaborato dal modulo RUNOFF del programma, viene ripetuto per ogni area elementare schematizzata, e per ogni passo temporale in cui è necessario discretizzare l'intervallo di tempo durante il quale interessa simulare la trasformazione afflussi-deflussi e la propagazione della conseguente piena lungo il sistema drenante, tenendo conto delle confluenze secondo la struttura topologica della rete idrografica.

#### **4.4.2 IL MODULO "RUNOFF" DI SWMM**

Il modulo RUNOFF è stato sviluppato per simulare sia la quantità che la qualità dei flussi in un bacino di drenaggio ed il loro propagarsi nelle condotte della rete. Assegnatogli uno ietogramma, il programma schematizza il bacino con una combinazione di sottobacini e di condotte e/o canali ideali, e procede a svolgere un'esaustiva analisi (neve disciolta, perdite da infiltrazione nelle aree pervie, ritenzione superficiale, flusso sul terreno e nelle condotte e/o canali), che permette di determinare gli idrogrammi ed i pollutogrammi nei vari nodi. Nello studio in questione si è analizzato il problema idrico solamente dal punto di vista quantitativo, non da quello qualitativo.

#### **4.4.3 EVAPORAZIONE**

L'evaporazione può essere inserita nel modulo RUNOFF sia direttamente, tramite una altezza cumulata per ciascun mese, sia a partire dalla serie temporale delle temperature. Nel caso in esame



si è adottata la prima opzione, anche per l'importanza modesta di tale voce sul bilancio idrico nell'intervallo temporale della piena.

L'evaporazione è sottratta all'altezza di pioggia caduta e/o acqua stagnante prima di calcolare l'infiltrazione e lo scorrimento superficiale. Il valore della precipitazione che il programma considera è quindi sempre quello netto a cui sono già state sottratte le perdite di evaporazione.

Sebbene nel modulo RUNOFF evaporazione e infiltrazione siano sommate per formare un unico valore di perdita per i calcoli nei sottobacini, totali separati sono mantenuti nel controllo generale della continuità.

#### **4.4.4 INFILTRAZIONE**

Per l'infiltrazione nelle aree pervie SWMM consente di scegliere tra 3 modelli: Horton, Green-Ampt e Curve Number. Il modello empirico di Horton è frequentemente utilizzato. Molti idrologi hanno una "sensibilità" per i tre parametri richiesti, nonostante la documentazione al riguardo sia molto scarsa. Sebbene nella sua formulazione classica l'equazione possa essere utilizzata solo qualora l'intensità di precipitazione ecceda la capacità di infiltrazione, le modifiche apportate in SWMM al modello permettono di superare questa deficienza.

Alternativamente l'equazione di Green-Ampt è un modello fisico che può consentire una buona descrizione del processo di infiltrazione. Nella formulazione di Mein-Larson il modello può anche essere applicato in caso di intensità di precipitazione inferiore alla capacità di infiltrazione all'inizio dell'intervallo temporale.

Nello studio in questione, data l'assenza pressoché totale di misure idrologiche utili sui bacini in questione, la scelta si è dovuta indirizzare verso modelli in cui la determinazione dei parametri di calibrazione fosse il meno possibile legata a particolari osservazioni dirette, per cui si è assunto il metodo CN del Soil Conservation Service (USA), descritto nel paragrafo 4.3.

#### **4.4.5 PROPAGAZIONE DEL FLUSSO SUPERFICIALE**

Il modulo RUNOFF rappresenta l'inizio della generazione del flusso in SWMM. Ciascun sottobacino viene suddiviso in tre sottoaree che simulano le aree impermeabili, con e senza depressioni superficiali, e l'area permeabile, con depressioni superficiali. La profondità delle



depressioni superficiali è un dato di input (parametro denominato WSTORE) per le aree impermeabili e permeabili di ciascun sottobacino.

Il flusso superficiale è generato da ciascuna delle tre aree approssimandole a serbatoi non-lineari, ai quali non viene assegnata alcuna forma specifica. Tuttavia, se la larghezza del sottobacino,  $W$ , è considerata come vera larghezza del flusso superficiale, allora l'area si comporterà come un bacino rettangolare. Altrimenti, la larghezza (come anche la pendenza e la scabrezza) possono essere considerati come parametri di calibrazione.

Il serbatoio non-lineare è definito combinando l'equazione di continuità con quella di Manning.

L'equazione di continuità, applicata a ciascuna sottoarea:

$$\frac{dV}{dt} = A \frac{dd}{dt} = A i^* - Q \quad (1)$$

dove  $V = A \cdot d$  = volume di acqua nella sottoarea,  $m^3$

$d$  = altezza della lama d'acqua,  $m$ ,

$t$  = tempo,  $s$ ,

$A$  = area del sottobacino,  $m^2$

$i^*$  = eccedenza di precipitazione = intensità di precipitazione /neve disciolta meno tasso di evaporazione e/o infiltrazione( $m/s$ )

$Q$  = velocità del flusso,  $m^2/s$ ,

si coniuga con l'equazione di Manning per il flusso:

$$Q = W \frac{1.49}{n} (d - d_p)^{5/3} S^{1/2} \quad (2)$$

dove  $W$  = larghezza del sottobacino,  $m$ ,

$n$  = coefficiente di scabrezza di Manning,

$d$  = altezza della lama d'acqua,  $m$ ,

$S$  = pendenza del sottobacino,  $m/m$ .

Queste due equazioni sono combinate in una equazione differenziale non lineare, che può essere





risolta rispetto ad un'incognita, l'altezza,  $d$ .

$$\frac{dd}{dt} = i^* - \frac{1.49 \cdot W}{A \cdot n} \cdot (d - d_p)^{5/3} S^{1/2} = i^* + WCON \cdot (d - d_p)^{5/3} \quad (3)$$

dove

$$WCON = \frac{1.49 \cdot W \cdot S^{1/2}}{A \cdot n} \quad (4)$$

Si noti il raggruppamento della larghezza, pendenza e scabrezza in un unico parametro.

L'equazione  $dd/dt$  è risolta per ciascun intervallo temporale con un semplice schema alle differenze finite. A questo scopo, nel lato destro dell'equazione si deve considerare il flusso medio netto in ingresso ed in uscita nell'intervallo di tempo. L'intensità di precipitazione,  $i$ , è considerata nel programma come media nell'intervallo di tempo. Il flusso medio è approssimato calcolandolo come media tra le vecchie e le nuove altezze. Quindi, denotando coi pedici 1 e 2 rispettivamente l'inizio e la fine dell'intervallo temporale, l'equazione si approssima:

$$\frac{d_2 - d_1}{\Delta t} = i^* + WCON \cdot \left[ d_1 + \frac{1}{2}(d_2 - d_1) - d_p \right]^{5/3} \quad (5)$$

dove  $\Delta t$  = intervallo di tempo, (s).

Questa equazione è poi risolta in  $d_2$  usando un'iterazione di Newton-Raphson.

Dato  $d_2$ , il flusso istantaneo alla fine dell'intervallo temporale,  $WFLOW$  è calcolato tramite l'equazione di Manning. Il flusso in uscita istantaneo è anche il valore del flusso che viene trasferito ai successivi moduli di SWMM.

Nonostante la soluzione dell'equazione alle differenze finite sia immediata e semplice, delle peculiarità esistono nel modo in cui alcuni parametri per le singole sottoaree ( $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$ ) vengono specificate. In particolare, solo due valori di  $WCON$  sono calcolati, uno per l'area permeabile ed uno per l'intera area impermeabile. Così, per il calcolo delle altezze nelle sottoaree impermeabili  $A_1$  e  $A_3$  si utilizza il medesimo  $WCON$ , ottenuto utilizzando l'area impermeabile totale. Tuttavia, il flusso istantaneo è calcolato usando l'area individuale di ciascuna sottoarea (ad esempio  $A_1$  o  $A_3$ ). L'influenza netta per le sottoaree  $A_1$  e  $A_3$  è ottenuta riducendo le larghezze in proporzione a  $A_1/(A_1+A_3)$  o  $A_3/(A_1+A_3)$ . Test numerici di questo schema confrontati con uno che



utilizza aree individuali (con larghezze proporzionali) nel parametro WCON indicano che si ha un risultato che può essere ritenuto soddisfacente.

Prima di eseguire questi calcoli, il programma verifica se le perdite sono maggiori dell'altezza della precipitazione più le riserve di acqua. In tal caso, le perdite (evaporazione più infiltrazione) assorbono tutta l'acqua ed il flusso è nullo. Similmente, se le perdite da sole sono sufficienti ad abbassare il livello dell'acqua al di sotto delle depressioni superficiali, la nuova altezza è calcolata solo su questa base ed il deflusso è nullo.

Lo schema computazionale si è dimostrato abbastanza stabile. L'unico caso in cui si verificano problemi di non-convergenza (oppure un tentativo di calcolare un'altezza negativa) è quando le sottoaree sono molto piccole (pochi metri quadrati) unite a intervalli temporali molto grandi (ad esempio dieci minuti). Qualora il programma segnali un messaggio di non convergenza, normalmente si può eliminare il problema aumentando l'area in questione o riducendo l'intervallo temporale.

La propagazione dei flussi generati è stabilita separatamente per ciascuna delle tre sottoaree del sottobacino.

Il flusso superficiale è calcolato come il prodotto della velocità per altezza e larghezza (dall'equazione di Manning (3.2) basata sulla differenza tra l'altezza totale e le depressioni superficiali),

Si noti che larghezza, pendenza e coefficiente di scabrezza di Manning sono combinati in unico parametro. Così, cambiamenti equivalenti possono essere apportati alterando uno qualsiasi dei tre parametri. Si noti anche che la larghezza e la pendenza sono uguali per le aree permeabili ed impermeabili. Il coefficiente di scabrezza di Manning e l'area relativa sono gli unici parametri disponibili per il modellatore per caratterizzare il contributo delle aree permeabili ed impermeabili nell'idrogramma di uscita.

I flussi calcolati nel modulo RUNOFF e trasferiti ai moduli successivi sono valori istantanei al tempo finale dell'intervallo.



#### 4.4.6 | FLUSSI SOTTERRANEI

La componente sotterranea simula due zone – una superiore (insatura) ed una inferiore (satura). Il flusso dalla zona insatura a quella satura è regolata da un'equazione di percolazione nella quale i parametri possono essere sia stimati che calibrati, in base alla disponibilità dei dati. L'unico flusso in entrata è l'infiltrazione calcolata dal modulo RUNOFF. L'evapotraspirazione nella zona superiore risulta l'unica causa di perdite nella zona insatura. Perdite e deflusso dalla zona inferiore possono avvenire tramite percolazione profonda, evapotraspirazione, e scorrimento sotterraneo. Il flusso sotterraneo è una funzione della tavola d'acqua ed eventualmente dell'altezza dell'acqua nel corso d'acqua di drenaggio.

Lo scorrimento sotterraneo rappresenta il flusso laterale dalla zona satura al corso d'acqua ricevente. L'equazione del flusso assume la seguente formula generale:

$$GWFLW = A1 \cdot (D1-BC)B1 - TWBC + A3 \cdot D1 \cdot BC \quad (6)$$

e

$$TWFLW = A2 \cdot (TW-BC) B2 \quad (7)$$

dove  $GWFLW$  = velocità del flusso sotterraneo all'inizio dell'intervallo temporale (per area del sottobacino)

$TWFLW$  = influenza della velocità del flusso dell'acqua del corso d'acqua all'inizio dell'intervallo temporale (per area del sottobacino),

$A1, A2, A3$  = coefficienti di influenza del flusso sotterraneo e del corso d'acqua,

$B1, B2$  = esponenti di influenza del flusso sotterraneo e dell'acqua nel corso d'acqua,

$D1$  = altezza della zona inferiore all'inizio dell'intervallo temporale,

$BC$  = altezza del fondo del corso d'acqua, e

$TW$  = altezza dell'acqua nel corso d'acqua.

Se  $D1$  è minore di  $BC$  o  $TW$ ,  $GWFLW$  è posto uguale a zero. Inoltre se  $TW = BC$  e  $B2 = 0$ , allora la forma indeterminata zero elevato a zero è posta uguale a uno dal programma.

Poiché il flusso sotterraneo può avere notevoli dimensioni, un flusso medio è calcolato





iterativamente ad ogni intervallo temporale. I flussi sotterranei possono essere indirizzati a qualsiasi nodo del reticolo drenante o a qualsiasi tratto fluviale, permettendo di isolare i vari componenti dell'idrogramma totale. Quindi il flusso sotterraneo non deve necessariamente essere indirizzato alla stessa destinazione del flusso superficiale di ogni sottobacino.

L'influsso dell'acqua nel corso d'acqua sul flusso sotterraneo può essere trattato in due modi distinti. La prima opzione prevede che l'altezza dell'acqua nel corso d'acqua,  $TW$ , risulti una costante maggiore od uguale al valore dell'altezza del fondo del corso d'acqua,  $BC$ , e che  $A2$ ,  $B2$  e/o  $A3$  abbiano valori maggiori di zero. La scelta di questo metodo equivale a specificare una influenza media dell'acqua nel corso d'acqua per tutto lo scorrimento da usare per ciascun intervallo temporale. La seconda opzione fissa l'altezza dell'acqua nel canale o fiume,  $TW$ , uguale al reale valore del tirante nel tratto considerato. Per questa impostazione, il flusso sotterraneo deve essere indirizzato ad un corso d'acqua e non ad un nodo. L'altezza idrica nel corso d'acqua ( $TW - BC$ ) è poi determinata per ogni intervallo temporale come l'altezza al precedente intervallo temporale. (Si assume che il fondo del corso d'acqua sia uguale a  $BC$ ). L'altezza all'inizio dell'intervallo temporale deve essere utilizzato per evitare iterazioni complesse e lunghe nella combinazione con l'equazione della portata del corso d'acqua. A causa di questo compromesso, l'acqua sotterranea può "pulsare" all'oscillare di  $D1$  appena sopra e sotto di  $TW$ . Questa pulsazione può introdurre errori nella continuità ed, ovviamente, non è rappresentativa del sistema reale. Intervalli temporali più corti e canali più larghi o meno pendenti (riducendo così la risposta del corso d'acqua) possono essere utilizzati per ridurre le pulsazioni. Infine, la selezione di  $A1$ ,  $B1$ ,  $A2$ ,  $B2$ , e  $A3$  deve essere fatta con cautela affinché  $GWFLW$  non diventi negativo. Nonostante questo possa accadere nel sistema reale, indicando un ricaricamento dal corso d'acqua, non esiste attualmente modo per rappresentare questo flusso contrario e sottrarlo dal corso d'acqua. Un modo per eludere questo è rendere  $A1$  più grande o uguale ad  $A2$  e  $B1$  più grande o uguale a  $B2$ , e  $B3$  uguale a zero.

A causa della natura generale dell'equazione, essa può assumere svariate forme funzionali. Per esempio, un serbatoio lineare può essere impostata selezionando  $B1$  uguale ad uno e  $A2$  e  $A3$  uguali a zero.



#### 4.4.7 IL MODULO “EXTRAN” DI SWMM (PROPAGAZIONE NEL RETICOLO IDROGRAFICO)

Il deflusso superficiale raggiunge la rete drenante e la sua propagazione viene simulata risolvendo, per ogni tubazione, il seguente sistema di equazioni differenziali alle derivate parziali rappresentanti l'equazione di bilancio di massa

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (8)$$

e l'equazione del momento della quantità di moto

$$g \cdot A \cdot \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial(Q^2 / A)}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial t} + g \cdot A \cdot S_f = 0 \quad (9)$$

con

$$S_f = \frac{Q \cdot |v|}{n^2 \cdot A \cdot R^{4/3}} \quad (10)$$

dove:

Q è la portata nel condotto funzione del tempo e dello spazio,

x l'ascissa longitudinale del condotto, variabile indipendente spazio,

A è la sezione del condotto di fognatura,

t la variabile indipendente tempo,

g l'accelerazione di gravità,

H è il carico piezometrico z+y, con z quota di fondo alveo e y tirante idrico,

Sf la pendenza della linea dei carichi,

R è il raggio idraulico del condotto,

v la velocità media nel condotto,

n il suo coefficiente di scabrezza secondo Manning.

Oltre alle equazioni differenziali descritte, il modello impone contemporaneamente, attraverso ulteriori equazioni, le condizioni al contorno, ed in particolare l'identità del livello in tutti gli



estremi di tratti fluviali che connettono lo stesso nodo, il legame tra livello raggiunto nei nodi, dimensione fisica delle confluenze e livelli idrici nei tratti riceventi.

Le condizioni iniziali nei tronchi vengono invece calcolate sulla base delle condizioni al contorno che riguardano i riceventi e della portata iniziale in ogni tratto.

#### **4.4.8 ADATTAMENTO DEL MODELLO IDROLOGICO SWMM**

Come accennato nel paragrafo precedente, il modello SWMM utilizza un numero elevato di parametri idrologici e idraulici, distribuiti su ogni sottobacino e collettore drenante; i loro valori numerici dovrebbero essere assegnati sulla base del confronto tra il valore delle grandezze misurate (portate o livelli) in alcuni tratti della rete ed il valore delle medesime grandezze ottenuto come risultato del modello di simulazione, con riferimento ad uno o più eventi di pioggia reali monitorati.

Nel caso in esame la calibrazione operata è in grado di fornire solo un riferimento di massima per le valutazioni numeriche successive, sulla affidabilità delle quali non può non pesare la sua labilità.

Il fatto che i parametri stiano entro il campo della rispettiva plausibilità fisica costituisce un elemento, in ogni modo, confortante circa l'attendibilità dei calcoli idrologici e idraulici. I valori dei principali parametri del modello SWMM dopo la calibrazione, sono i seguenti:

1. lama d'acqua di detenzione superficiale su suolo impermeabile (mm): 2.5;
2. lama d'acqua di detenzione superficiale su suolo permeabile (mm): 5.1 ;
3. coef. di scabrezza secondo Manning su suolo impermeabile ( $m^{-0.33} s$ ): 0.011;
4. coef. di scabrezza medio secondo Manning su suolo permeabile ( $m^{-0.33} s$ ).





per ciascun sottobacino è stato stimato il coefficiente descritto correlando i parametri di uso del suolo con i principali coefficienti di scabrezza caratteristici del tipo di suolo in esame (Rif. Figura 4-8).

Surface	n
Smooth asphalt	0.011
Smooth concrete	0.012
Ordinary concrete lining	0.013
Good wood	0.014
Brick with cement mortar	0.014
Vitrified clay	0.015
Cast iron	0.015
Corrugated metal pipes	0.024
Cement rubble surface	0.024
Fallow soils (no residue)	0.05
Cultivated soils	
Residue cover < 20%	0.06
Residue cover > 20%	0.17
Range (natural)	0.13
Grass	
Short, prarie	0.15
Dense	0.24
Bermuda grass	0.41
Woods	
Light underbrush	0.40
Dense underbrush	0.80

FIGURA 4-8 COEFFICIENTI DI SCABREZZA SECONDO LA FORMULAZIONE DI MANNING

In tutti i sottobacini lo stato iniziale del suolo è stato assunto parzialmente saturo.

Il metodo di calcolo utilizzato per l'implementazione del modello è il Dynamic Wave, ossia definizione dei parametri idraulici della rete in moto vario e quindi tenendo conto sia degli effetti di laminazione che delle condizioni di monte e valle dinamiche in ogni nodo della rete.

Il modello SWMM, calibrato secondo le possibilità concesse dalle informazioni disponibili viene applicato per il calcolo degli idrogrammi degli eventi di piena di riferimento.

I risultati discussi nel successivo paragrafo mostrano gli idrogrammi di piena in corrispondenza delle sezioni principali ritenute di maggiore interesse.

Il modello SWMM non interpola linearmente le caratteristiche geometriche di sezioni trasversali consecutive ma le assume costanti a tratti, secondo lunghezze di influenza nella direzione del moto attribuite a ciascuna sezione. Le aste sono rappresentate segmentandole in tronchi che riproducono la pendenza longitudinale media di ciascun tratto di corso d'acqua ed una geometria media della sezione trasversale come tipologia costante lungo il tratto fra due nodi idraulici consecutivi.



---

## 4.5 RISULTATI ANALISI DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI/DEFLUSSI

---

Il principale obiettivo della modellazione idrologico-idraulica è stata quella di individuare e quantificare le criticità idrauliche esistenti nel bacino idrografico in studio, al fine di definire il quadro conoscitivo necessario per interpretare idraulicamente gli effetti dei possibili interventi di mitigazione.

La durata di pioggia in grado di evidenziare le maggiori criticità sul reticolo idrografico complessivo è risultata essere quella pari a 12 ore.

Il modello SWMM di trasformazione afflussi-deflussi è stato applicato per il calcolo degli idrogrammi delle piene di riferimento, corrispondenti ad un tempo di ritorno rispettivamente di 5, 20 e 100 anni. Questa suddivisione ha consentito, oltre all'individuazione delle criticità idrauliche, anche la gerarchizzazione delle stesse secondo le metodologie descritte nel successivo capitolo 6.

I risultati proposti nei paragrafi seguenti individuano i nodi, del territorio della pianura cremonese orientale e facenti parte del bacino idrografico del reticolo scolante Fregalino- Fossadone, soggetti a rischio di allagamento. Per le criticità idrauliche ritenute più significative si è proceduto, quindi, a quantificarne i rispettivi idrogrammi di portata e velocità nei collettori e i rispettivi volumi di esondazione nei nodi rappresentativi dell'insufficienza idraulica del reticolo idrografico.

Per consentire la facile lettura dei risultati ottenuti dalla modellazione e il successivo confronto con le aree allagate durante l'evento di piena del 15-16 giugno 2010, è stato redatto l'elaborato grafico n. 4 "Planimetria delle criticità idrauliche" allegato alla presente relazione che riporta i nodi critici individuati oltre alla suddivisione per colore rappresentativa del processo di gerarchizzazione descritto al capitolo seguente.

Le simulazioni effettuate attraverso la modellazione afflussi / deflussi sono state 3:

- 1) Evento pluviometrico durata 12 h e tempo di ritorno pari a 100 anni;
- 2) Evento pluviometrico durata 12 h e tempo di ritorno pari a 20 anni;
- 3) Evento pluviometrico durata 12 h e tempo di ritorno pari a 5 anni;

### 4.5.1 EVENTO PLUVIOMETRICO DI DURATA 12 H E TEMPO DI RITORNO PARI A 100 ANNI

Le Figura 4-9 Figura 4-10 mostrano la planimetria con l'indicazione delle criticità idrauliche (rappresentate mediante bollo rosso) riscontrate per un evento di piena generato da una pioggia di durata 12 ore e tempo di ritorno 100 anni.

Attraverso le Figura 4-9 e Figura 4-10 è possibile confrontare i nodi critici derivanti dalla modellazione descritta con le aree soggette ad allagamento durante l'evento alluvionale del 14-16 giugno del 2012.

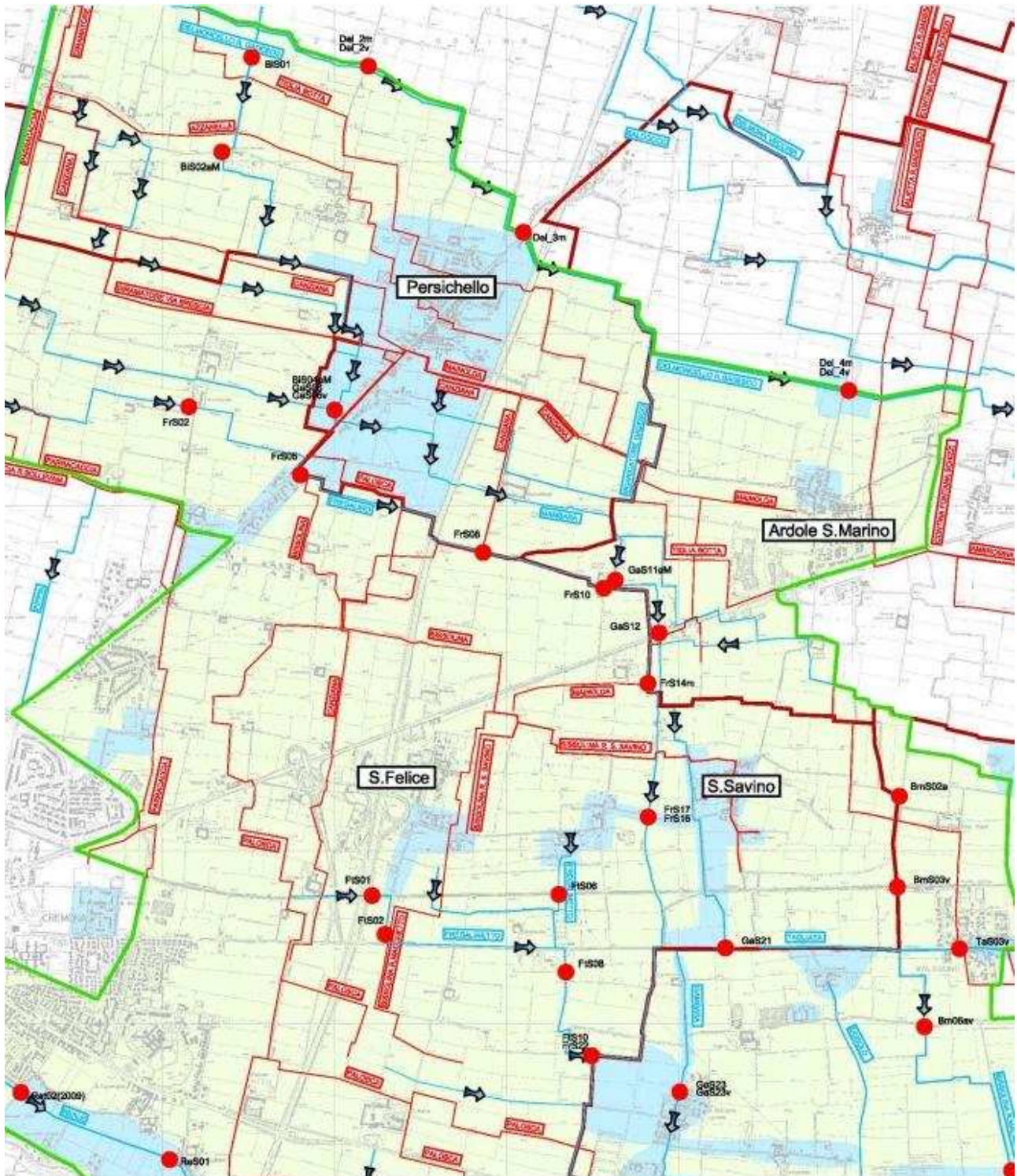


FIGURA 4-9 PLANIMETRIA CRITICITÀ IDRAULICHE EVENTO PLUVIOMETRICO TR 100 ANNI E DURATA 12 H (PARTE NORD)



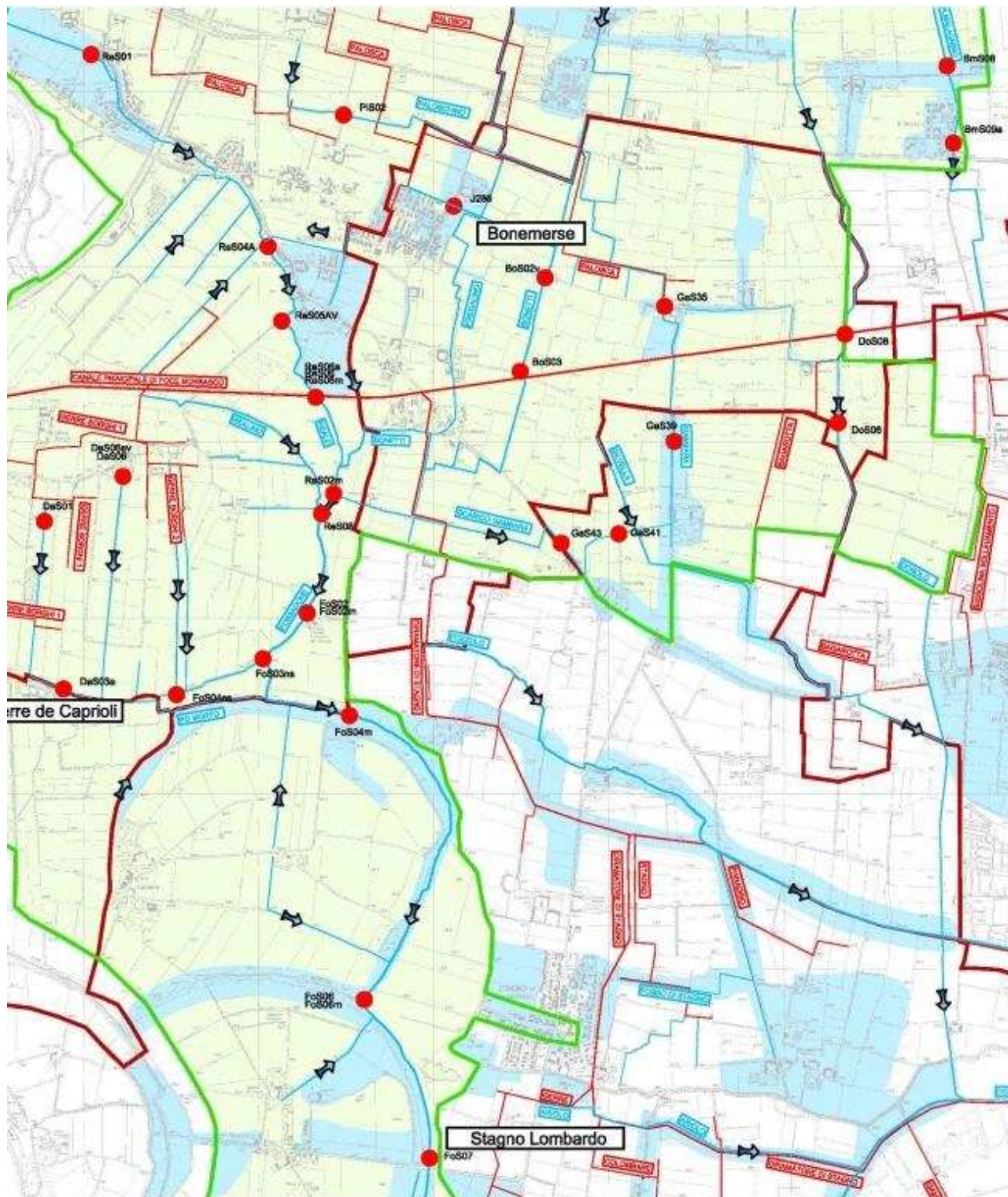


FIGURA 4-10 PLANIMETRIA CRITICITÀ IDRAULICHE EVENTO PLUVIOMETRICO TR 100 ANNI E DURATA 12 H (PARTE SUD)

Di seguito si riportano alcuni dei risultati ottenuti sul reticolo principale Fregalino – Fossadone in studio.





#### 4.5.1.1 Colo Fregalino e Bonetti

I coli Fregalino e Bonetti costituiscono il tratto, fino all'abitato di Bonemerse, del reticolo principale che raccoglie le acque di colo provenienti da tutto il comparto in studio. Nelle figure seguenti, seguendo il sedime del corso d'acqua da monte verso valle, si riportano i principali risultati, in termini di idrogrammi di piena, e portate esondate calcolate durante la simulazione di un evento pluviometrico di durata 12 h e TR pari a 100 anni.

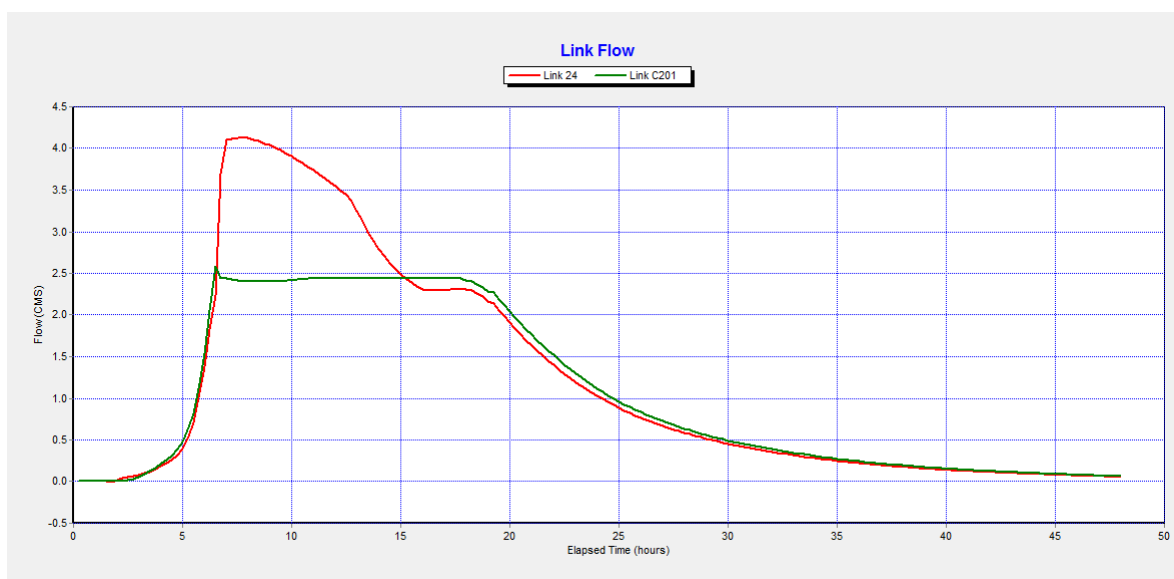


FIGURA 4-11 IDROGRAMMA DI PORTATA A MONTE (COLORE ROSSO) E A VALLE (COLORE VERDE) DELL'ATTRAVERSAMENTO SULLA SP 83

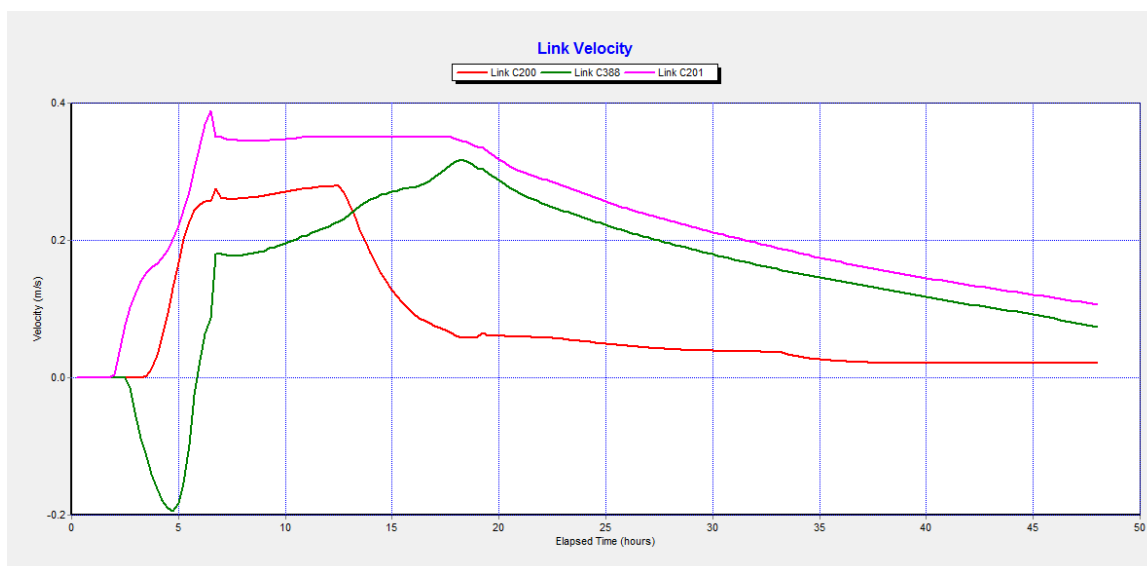


FIGURA 4-12 ANDAMENTO DELLE VELOCITÀ IN CORRISPONDENZA DEL NODO DI INGRESSO DEL COLO BISSOLINA R. PERSICO NEL FREGALINO: SUL FREGALINO, A MONTE DELLA CONFLUENZA (COLORE ROSSO), A VALLE CONFLUENZA (COLORE MAGENTA) E SULLA BISSOLINA (COLORE VERDE)

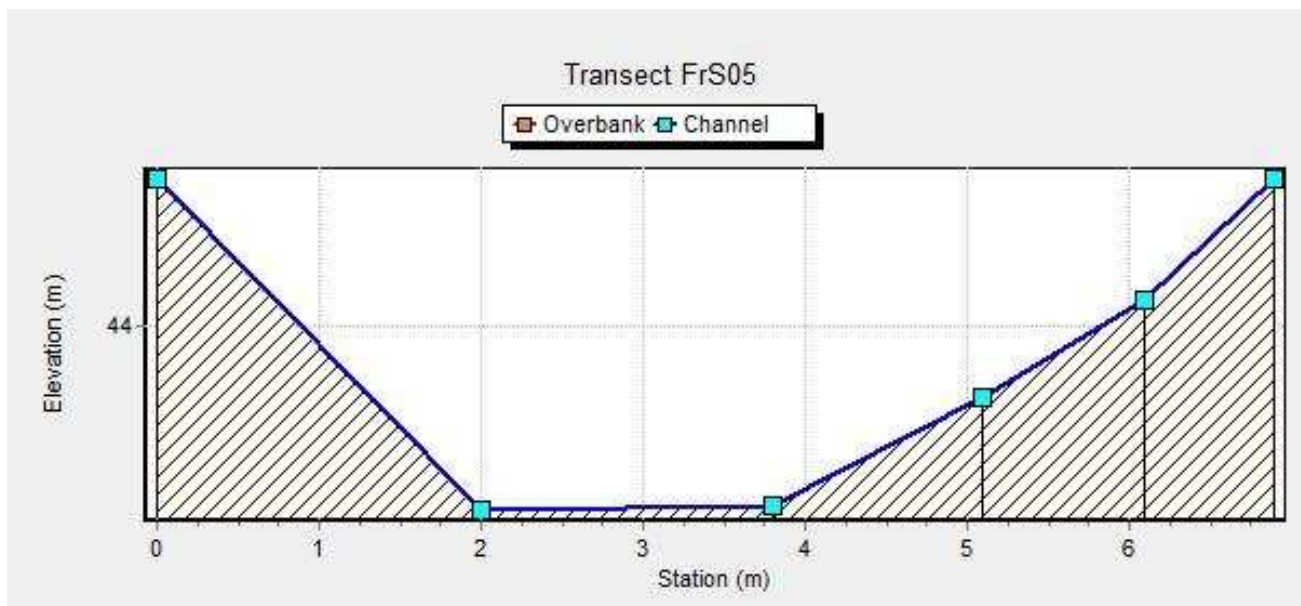


FIGURA 4-13 RIPRODUZIONE DELLA SEZIONE FrS05 NEL MODELLO IDROLOGICO E IDRAULICO

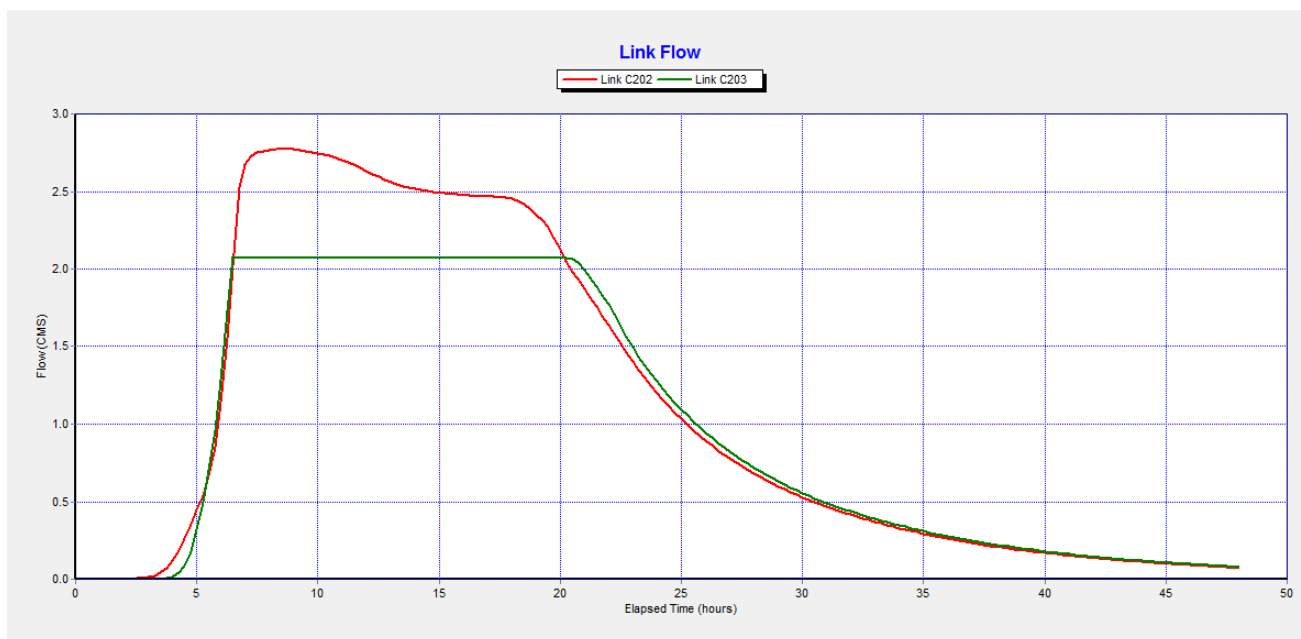


FIGURA 4-14 IDROGRAMMA DI PORTATA A MONTE (COLORE ROSSO) E A VALLE (COLORE VERDE) DELL'ATTRAVERSAMENTO IN LOCALITÀ ACQUALUNGA

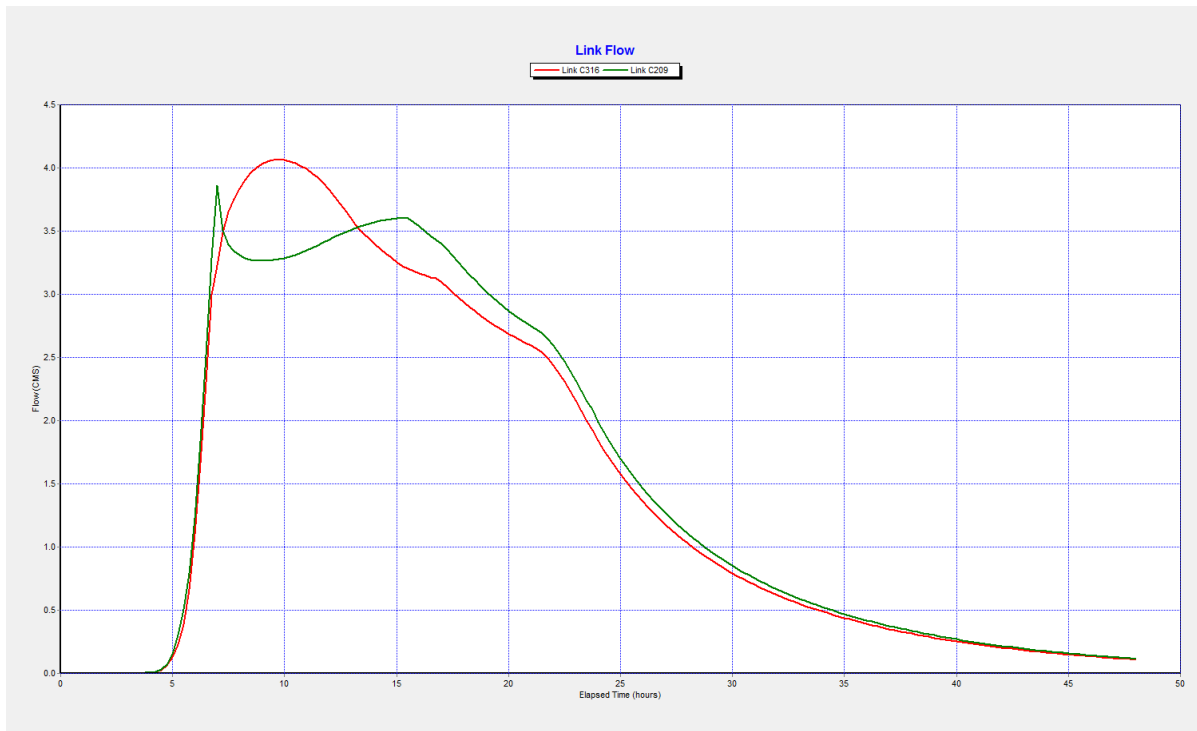


FIGURA 4-15 IDROGRAMMA DI PORTATA A MONTE (COLORE ROSSO) E A VALLE (COLORE VERDE) DELL' ATTRAVERSAMENTO DI VIA S. SAVINO

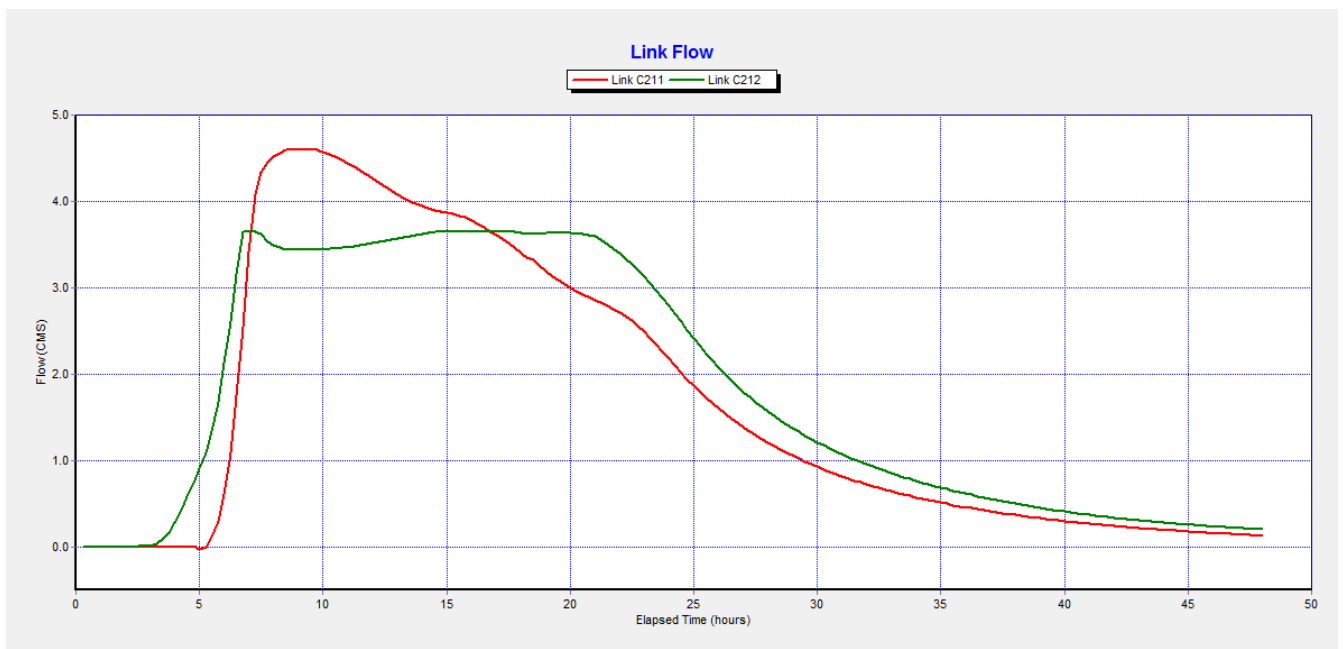


FIGURA 4-16 FIGURA 4-17 IDROGRAMMA DELLA PORTATA A MONTE (COLORE ROSSO) E A VALLE (COLORE VERDE) DEL NODO DI CONFLUENZA FREGALINO – FREGALINETTO

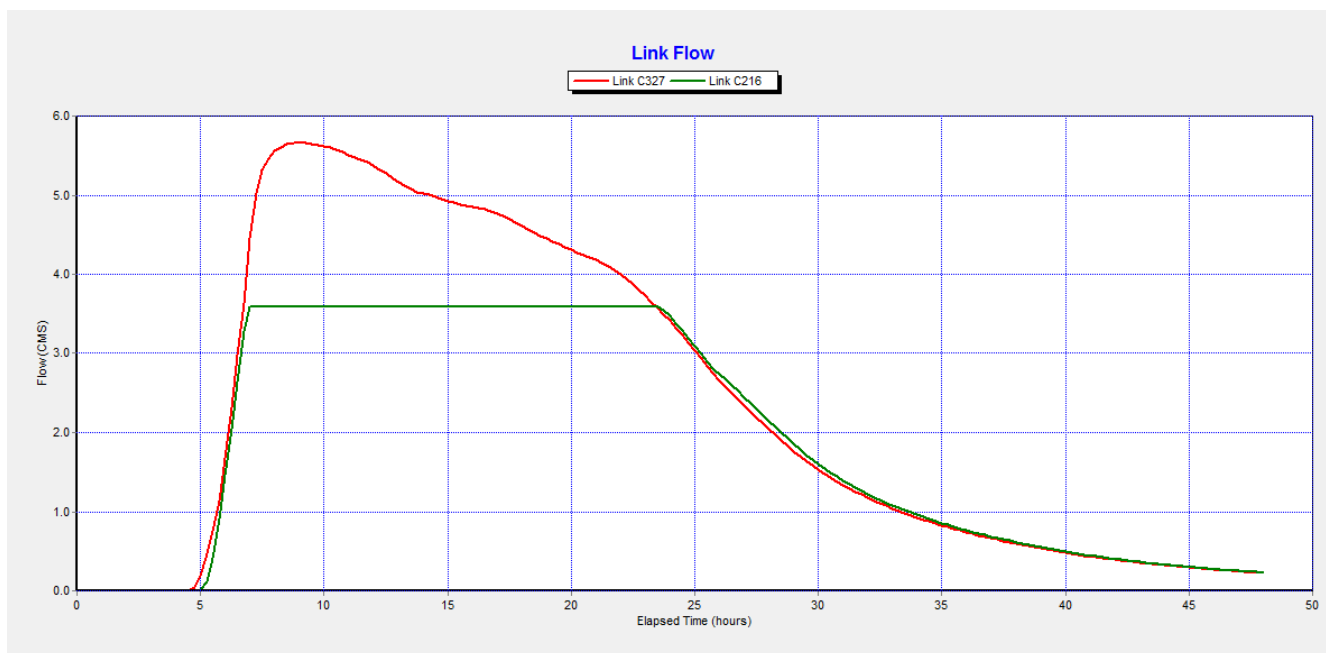


FIGURA 4-18 IDROGRAMMA DELLA PORTATA A MONTE (COLORE ROSSO) E A VALLE (COLORE VERDE) DELL'ATTRAVERSAMENTO DI VIA CARETTOLO (BONEMERSE)

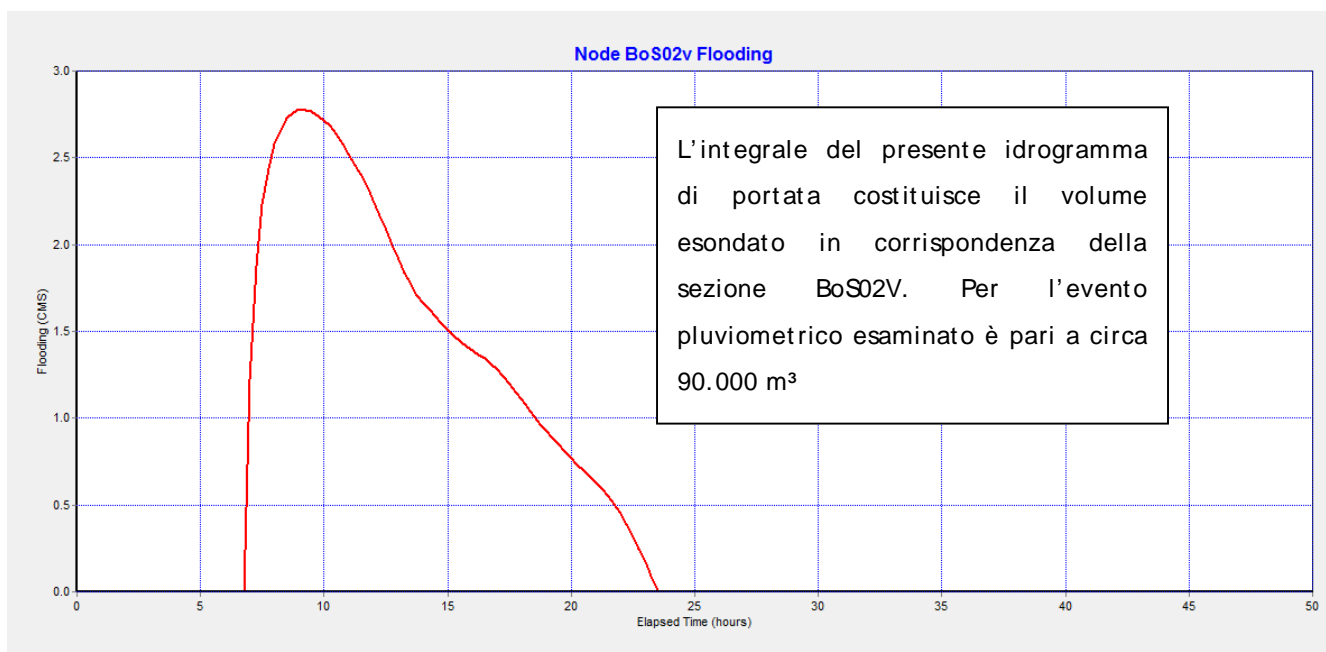


FIGURA 4-19 IDROGRAMMA DELLA PORTATA DI ESONDAZIONE IN CORRISPONDENZA DELL'ATTRAVERSAMENTO DI VIA CARETTOLO (BONEMERSE)

Come attesta il grafico di Figura 4-19, associato alle altre criticità poste nelle vicinanze e riscontrabili dalla planimetria riportata all'inizio del paragrafo, uno dei punti di maggiore criticità è rappresentato dalla confluenza Fregalino – Bonetti (Paloschino). Le acque defluite dalla porzione settentrionale del





bacino idrografico, infatti, rafforzate dagli ulteriori contributi dei colli Bissolina ramo Persico e scolmatore Delmoncello defluiscono lungo il sedime del colatore Fregalino che, poche decine di metri a valle dell'attraversamento della Via Giuseppina, in prossimità dell'abitato di Bonemerse è costretto a fare fronte agli ulteriori apporti generati dai colli Fregalinetto e Paloschino. Ecco quindi che durante gli eventi particolarmente intensi, complici la difficoltà delle acque a defluire verso sud, in questo tratto si verificano esondazioni di elevata entità spesso rese ancora più gravose dalla contemporanea esondazione del colo Gambarà.

#### 4.5.1.2 Colo Reale e Fossadone

Il Fregalino superato l'abitato di Bonemerse piega verso ovest e recapita le proprie acque prima nel colo Reale, quindi nel Fossadone che a sua volta le scarica nel fiume Po a valle del manufatto chiavicale.

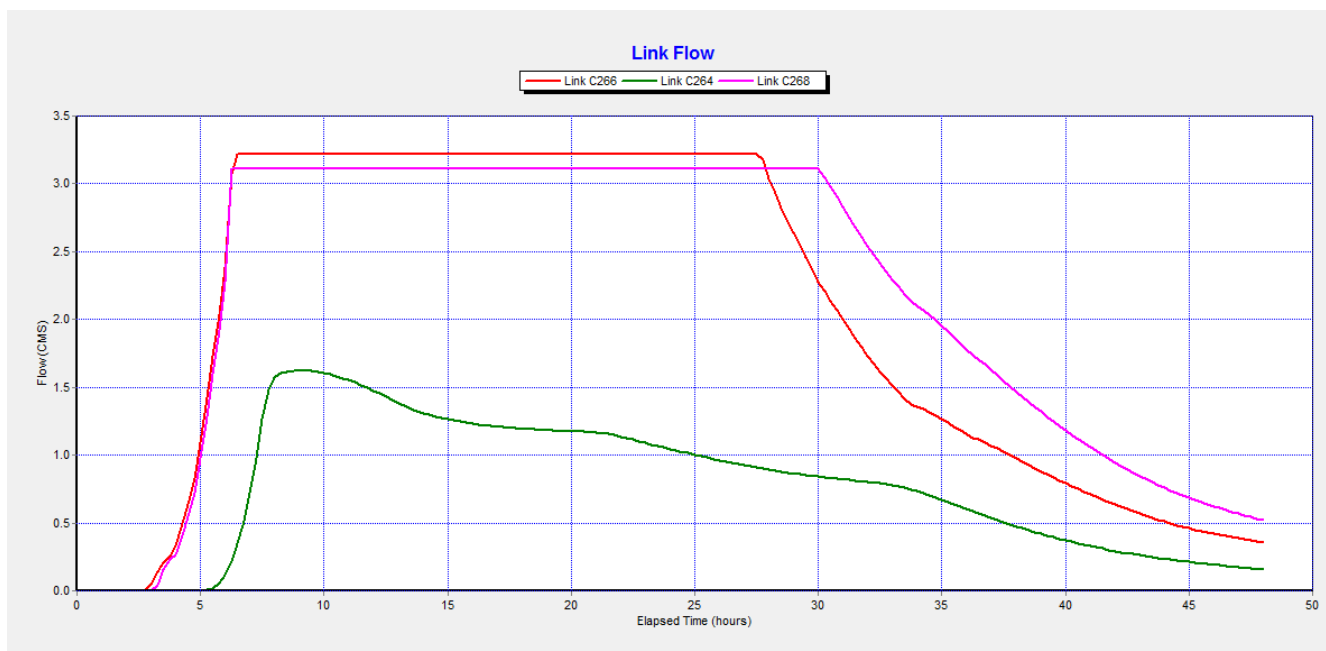


FIGURA 4-20 IDROGRAMMA DI PORTATA DEL REALE IN CORRISPONDENZA DEL NODO DI CONFLUENZA DELLA GAMBARA: A MONTE DELLA CONFLUENZA (COLORE ROSSO), A VALLE CONFLUENZA (COLORE MAGENTA) E SU SCARICO GAMBARA (COLORE VERDE). È POSSIBILE NOTARE COME L'IDROGRAMMA DI SCARICO DELLA GAMBARA NON SIA RIGURGITATO PROPRIO PER EFFETTO DEL SALTO DI QUOTA PRESENTE IN CORRISPONDENZA DELLA CONFLUENZA

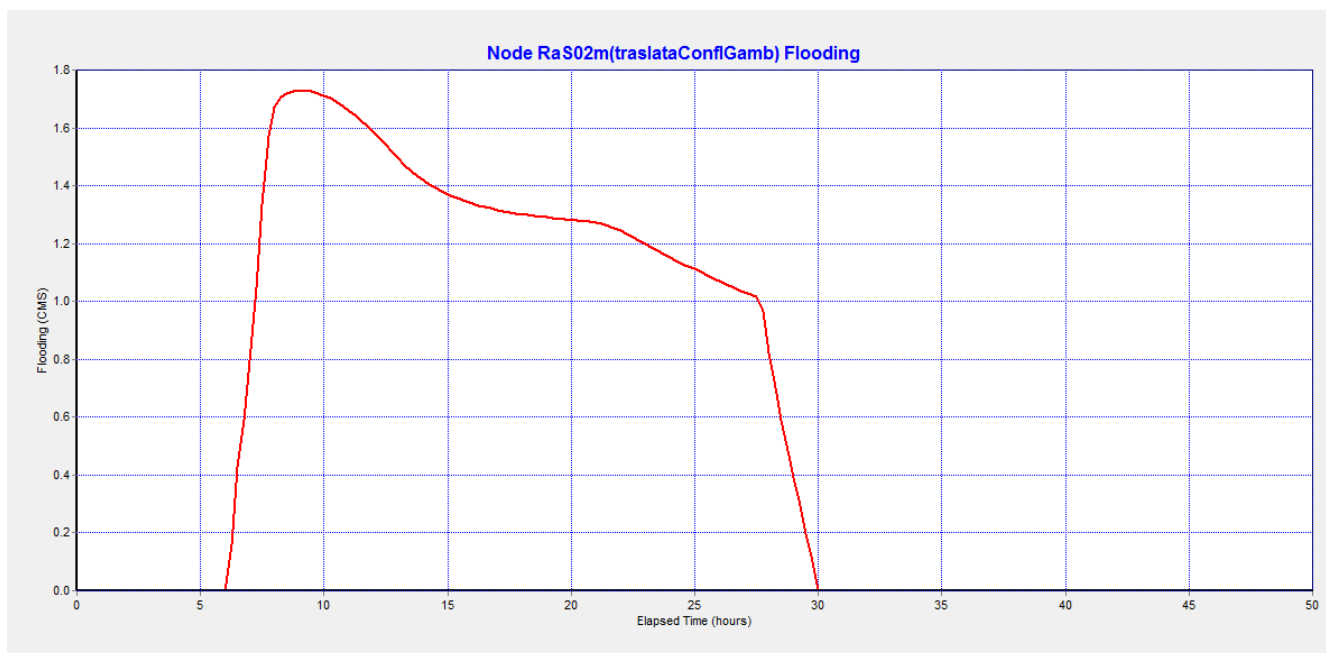


FIGURA 4-21 IDROGRAMMA DELLA PORTATA DI ESONDAZIONE DEL REALE IN CORRISPONDENZA DELLA CONFLUENZA GAMBARA

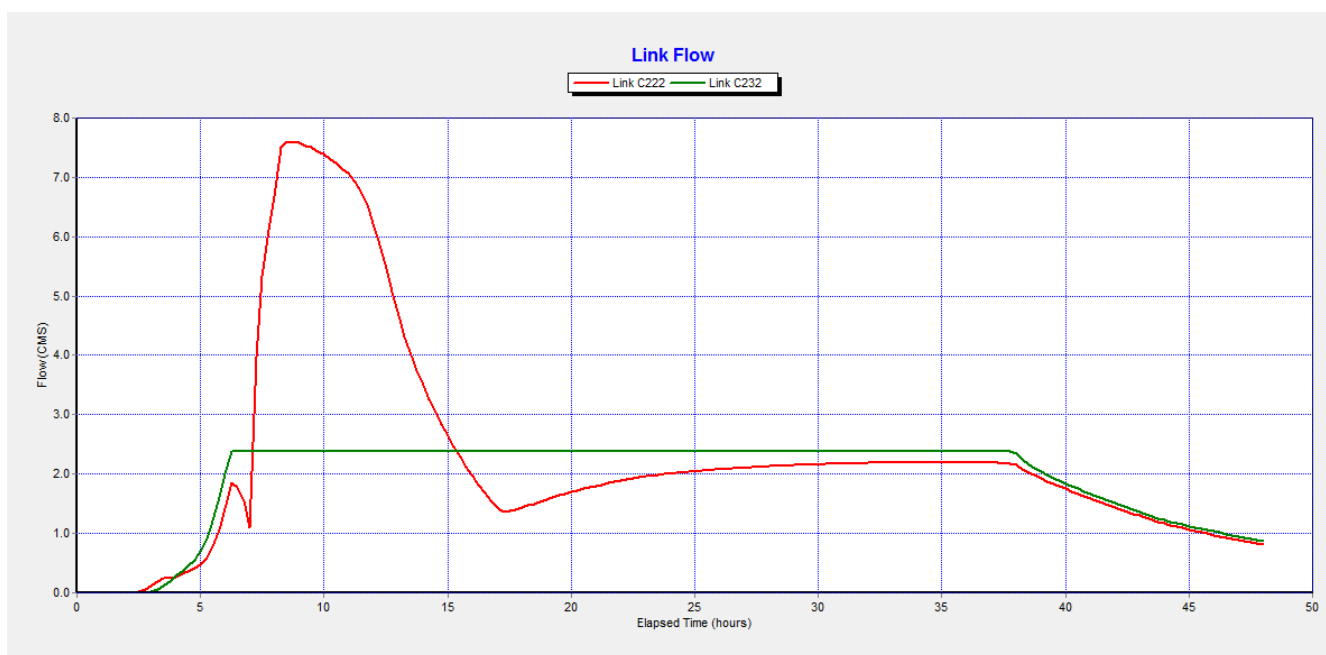


FIGURA 4-22 IDROGRAMMA DI PORTATA DEL COLO FOSSADONE A MONTE ( COLORE ROSSO ) E A VALLE ( COLORE VERDE ) DELL' ATTRAVERSAMENTO DELLA CARRAIA INTERPODERALE IN LOCALITÀ CASCINA S. GIOVANNI. IL GRAFICO MOSTRA UNA CRITICITÀ MOLTO IMPORTANTE EVIDENZIATA DALL' ITERAZIONE TRA MODELLAZIONE AFFLUSSI/ DEFLUSSI E IDRODINAMICA ( RIF. FIGURA 5-6 )

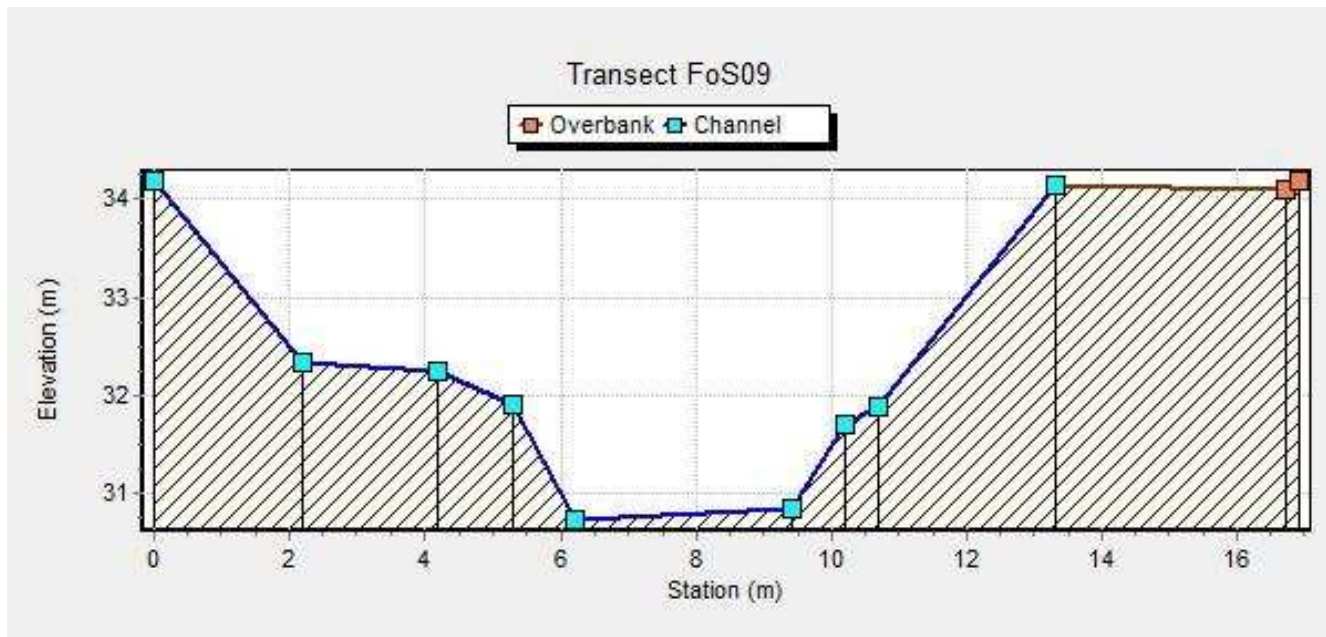


FIGURA 4-23 RIPRODUZIONE DELLA SEZIONE FOS09 NEL MODELLO IDROLOGICO E IDRAULICO

Il riepilogo dei volumi di esondazione per ciascuna sezione è riportato, suddiviso per i diversi tempi di ritorno, nell'elaborato grafico n. 4 "Planimetria delle criticità idrauliche" allegato alla presente relazione.

#### 4.5.2 EVENTO PLUVIOMETRICO DI DURATA 12 H E TEMPO DI RITORNO PARI A 20 ANNI

Le Figura 4-24 e Figura 4-25 mostrano la planimetria con l'indicazione delle criticità idrauliche (rappresentate mediante bollo rosso) riscontrate per un evento di piena generato da una pioggia di durata 12 ore e tempo di ritorno 20 anni.





RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO PER I TERRITORI DELLA PROVINCIA DI CREMONA AFFERENTI AL RETICOLO IDRICO PRINCIPALE FREGALINO - FOSSADONE E CHE COINVOLGE PARTE DEI COMUNI DEL TERRITORIO CREMONESE ORIENTALE

PROVINCIA DI CREMONA  
Ufficio Protezione Civile

Relazione idrologica e idraulica

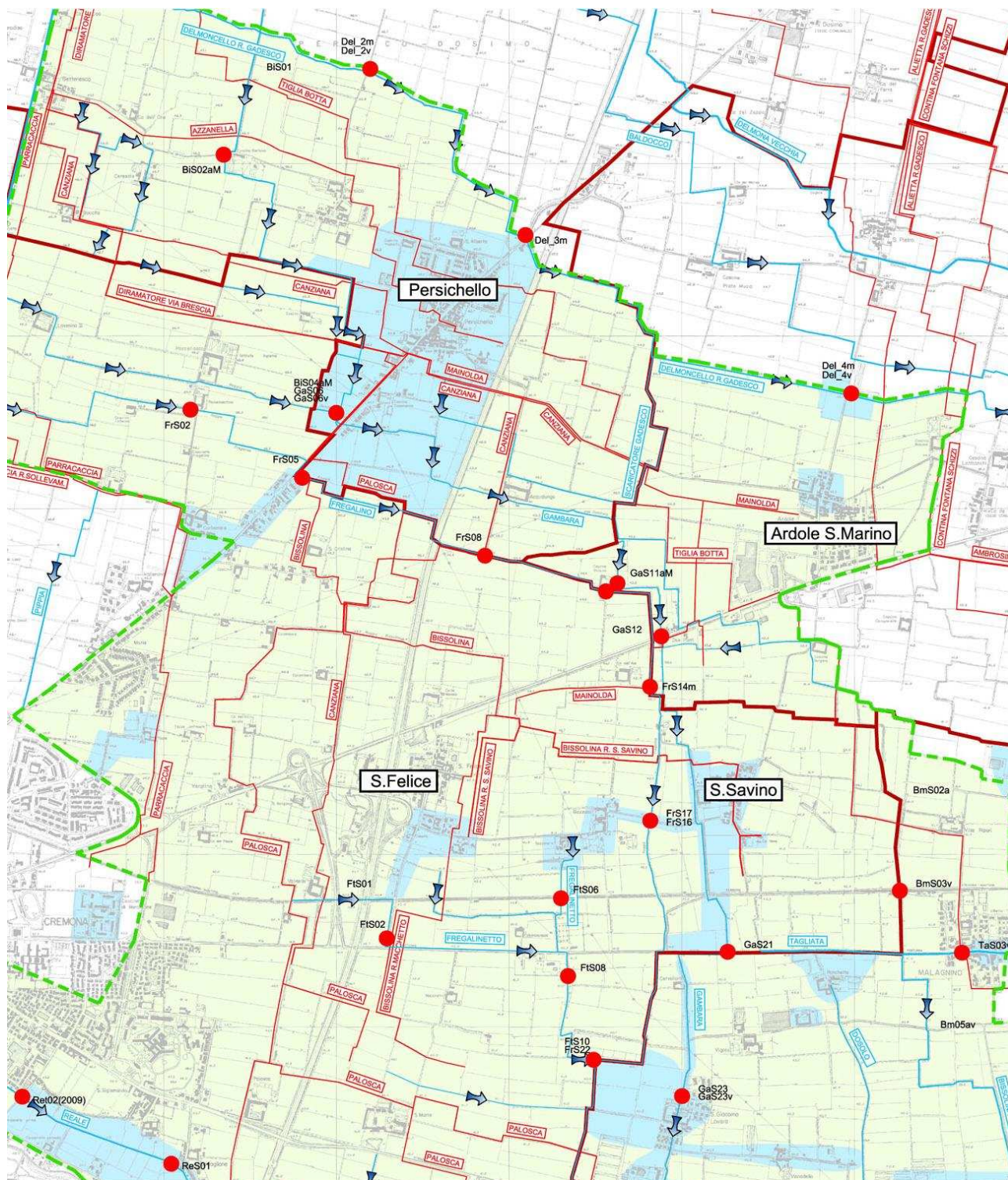


FIGURA 4-24 PLANIMETRIA CRITICITÀ IDRAULICHE EVENTO PLUVIOMETRICO TR 20 ANNI E DURATA 12 H (PARTE NORD)





RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO PER I TERRITORI DELLA PROVINCIA DI CREMONA AFFERENTI AL RETICOLO IDRICO PRINCIPALE FREGALINO - FOSSADONE E CHE COINVOLGE PARTE DEI COMUNI DEL TERRITORIO CREMONESE ORIENTALE

PROVINCIA DI CREMONA  
Ufficio Protezione Civile

Relazione idrologica e idraulica

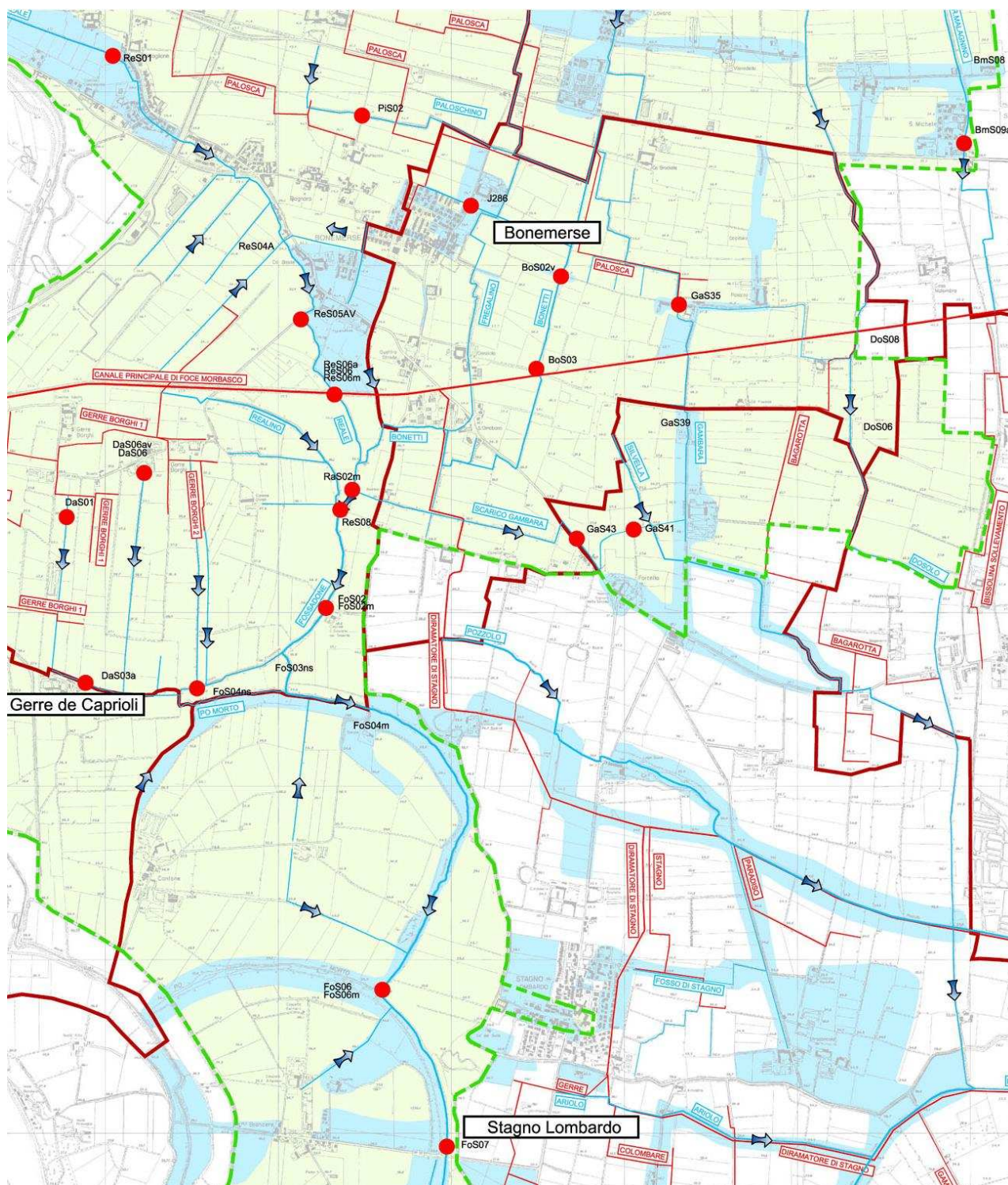


FIGURA 4-25 PLANIMETRIA CRITICITÀ IDRAULICHE EVENTO PLUVIOMETRICO TR 20 ANNI E DURATA 12 H (PARTE SUD)

Il riepilogo dei volumi di esondazione per ciascuna sezione è riportato, suddiviso per i diversi tempi di ritorno, nell'elaborato grafico n. 4 "Planimetria delle criticità idrauliche" allegato alla presente relazione.





#### 4.5.3 EVENTO PLUVIOMETRICO DI DURATA 12 H E TEMPO DI RITORNO PARI A 5 ANNI

Le Figura 4-26 e Figura 4-27 mostrano la planimetria con l'indicazione delle criticità idrauliche (rappresentate mediante bollo rosso) riscontrate per un evento di piena generato da una pioggia di durata 12 ore e tempo di ritorno 5 anni.

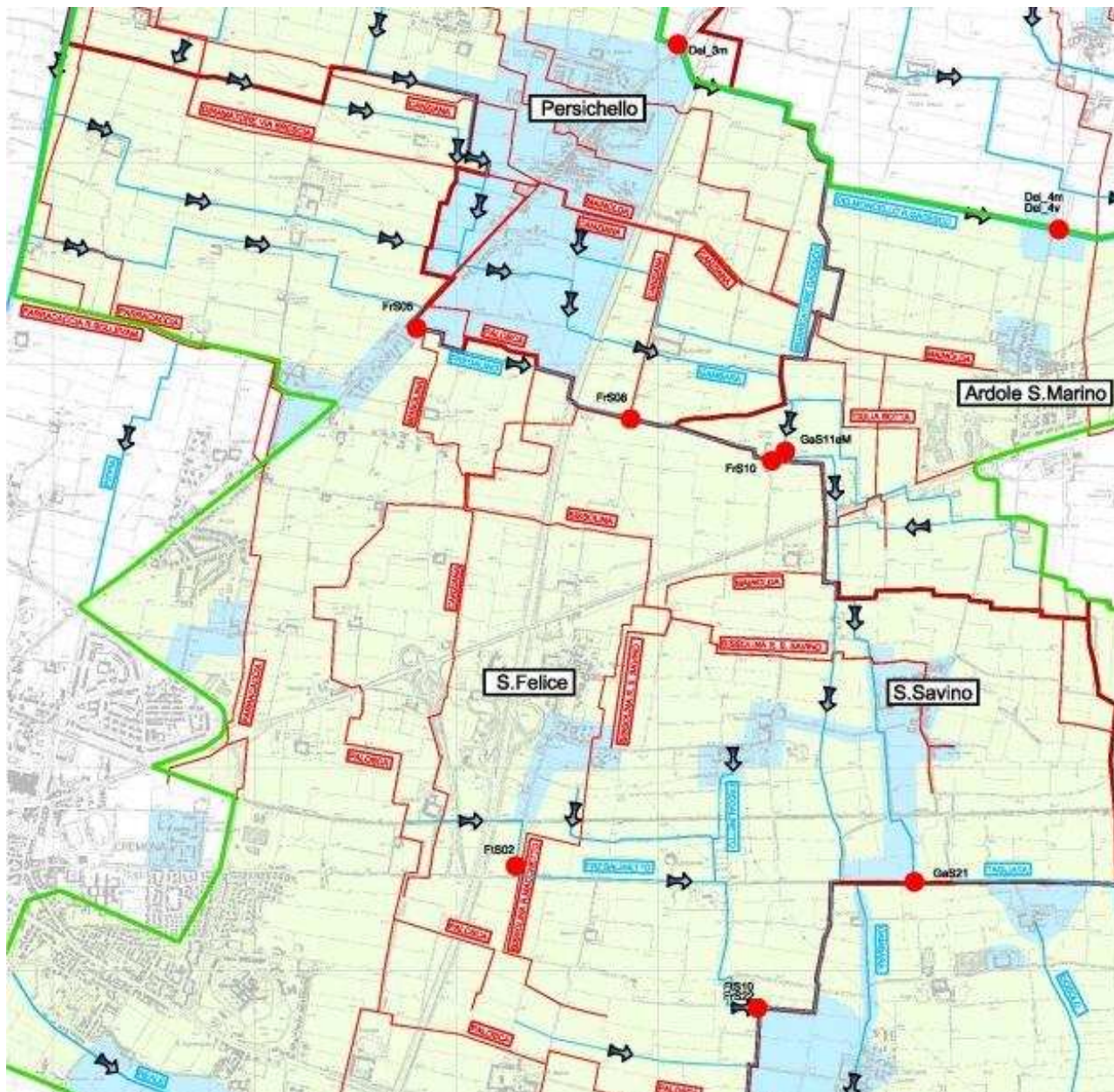


FIGURA 4-26 PLANIMETRIA CRITICITÀ IDRAULICHE EVENTO PLUVIOMETRICO TR 5 ANNI E DURATA 12 H (PARTE NORD)



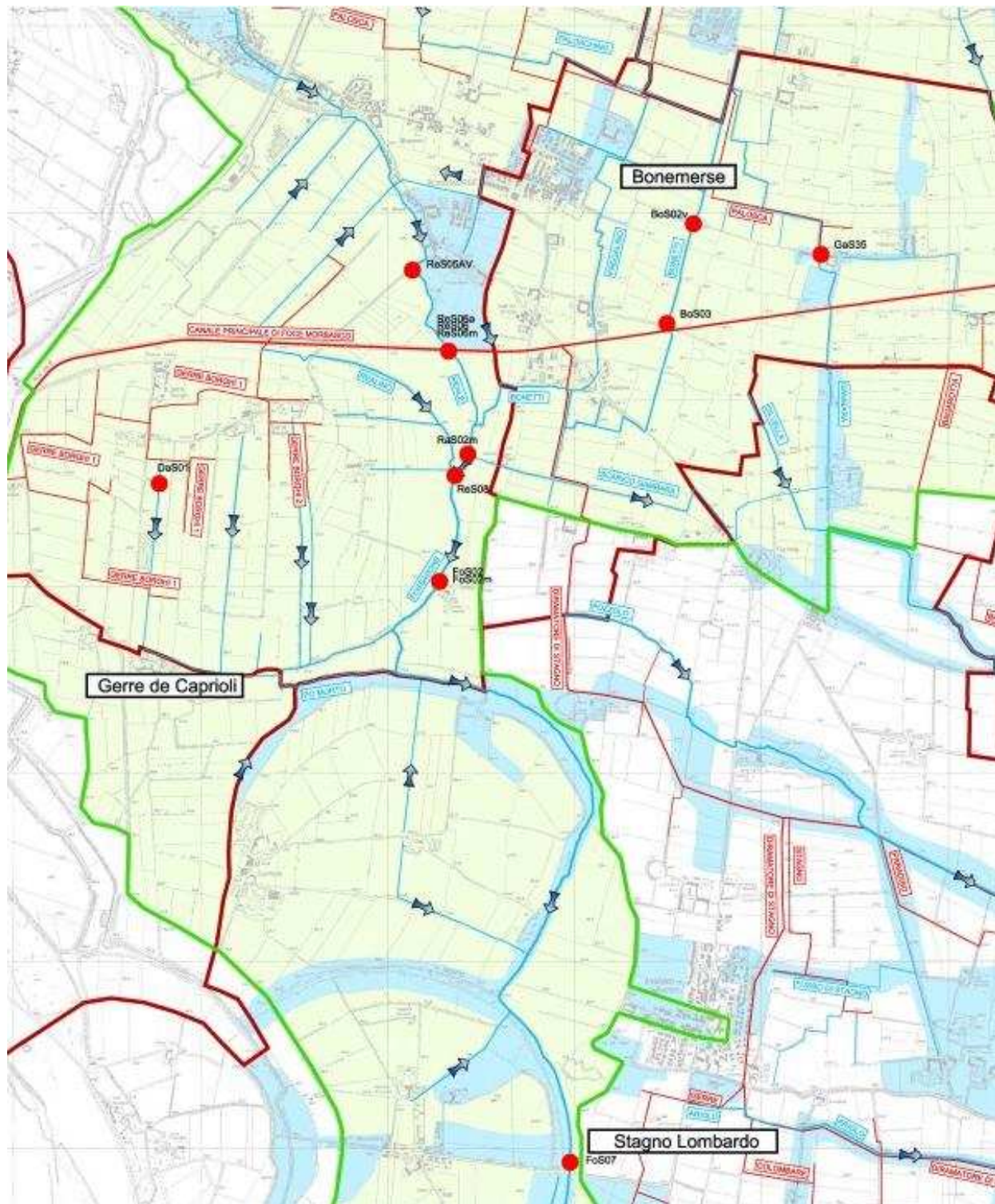


FIGURA 4-27 PLANIMETRIA CRITICITÀ IDRAULICHE EVENTO PLUVIOMETRICO TR 5 ANNI E DURATA 12 H (PARTE SUD)

Il riepilogo dei volumi di esondazione per ciascuna sezione è riportato, suddiviso per i diversi tempi di ritorno, nell'elaborato grafico n. 4 "Planimetria delle criticità idrauliche" allegato alla presente relazione.

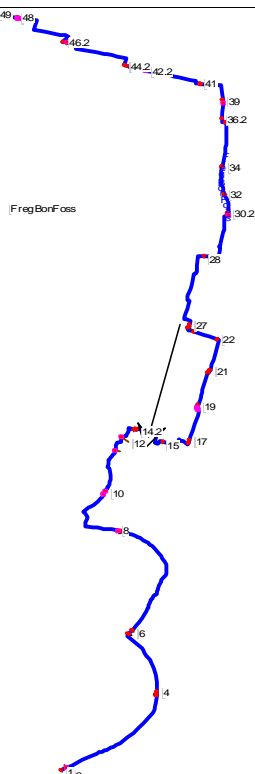


## 5 VERIFICA IDRAULICA DELLO STATO DI FATTO

Le analisi idrologiche hanno, quindi, preliminarmente definito le portate in ingresso ai molteplici corsi d'acqua afferenti al sistema Fregalino-Fossadone, permettendo così la verifica dell'efficienza idraulica della rete principale nello stato di fatto.

Partendo dalla descrizione morfologica dei tratti fluviali, l'analisi idraulica della propagazione delle piene di riferimento è stata svolta per mezzo di un modello d'integrazione numerica delle equazioni che descrivono matematicamente il fenomeno, imponendo precise condizioni al contorno (livelli di valle, ostruzione ai nodi, carichi gravanti di origine urbana, ecc.). Il software utilizzato è l'HEC-RAS versione 4.1.0 prodotto dalla U.S. Army Corps of Engineers.

### 5.1 DESCRIZIONE GEOMETRICA DEL RETICOLO FREGALINO – BONETTI – FOSSADONE AI FINI MODELLISTICI



Per quanto riguarda l'analisi della morfologia dell'alveo fluviale e dell'andamento piano altimetrico del thalweg, la presente analisi idraulica prende in considerazione il reticolo principale di colo della parte est del territorio cremonese costituito dall'unione dai tre canali "Fregalino – Bonetti - Fossadone" che si sviluppa per circa 20km. In particolare, limitatamente a questo sedime, sono state rilevate 49 sezioni trasversali dalla sezione FrS01, posta pochi chilometri a nord dell'abitato di Cremona in prossimità della Via Brescia all'altezza di Cascina Inferno, alla sezione FoS10, in corrispondenza della struttura chiavicale sita poche centinaia di metri a monte della confluenza del colo Fossadone nel fiume Po. Il rilievo topografico utilizzato, descritto nel capitolo 2, è stato realizzato dallo studio Geo3 Srl nel corso delle settimane precedenti alla consegna del presente studio.





Nel grafico seguente si riporta l'andamento del thalweg nel tratto oggetto di studio.

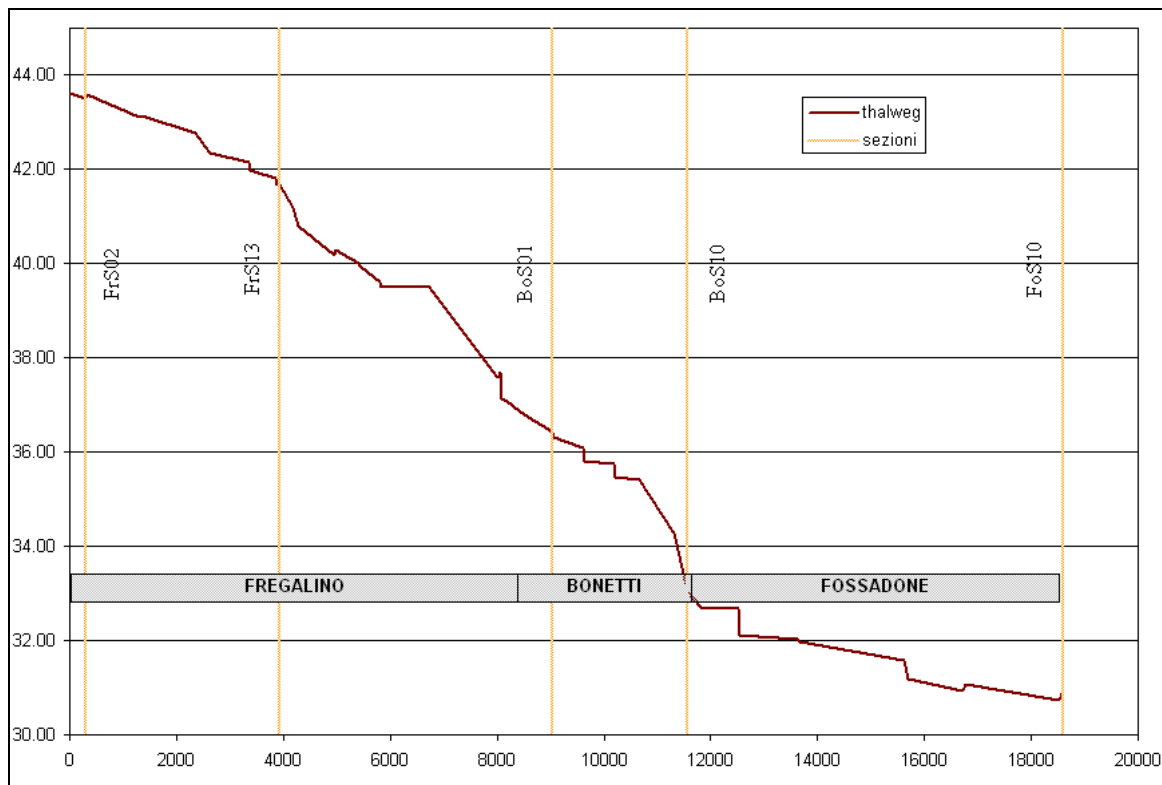


FIGURA 5-1: PROFILO LONGITUDINALE DEL THALWEG DEL RETICOLO "FREGALINO – BONETTI – FOSSADONE" OGGETTO DI STUDIO

La rete principale modellata è caratterizzata da numerose criticità; si pensi, infatti, che nel tratto oggetto di studio sono stati rilevati oltre 20 manufatti interferenti.

## 5.2 IL MODELLO MATEMATICO IDRODINAMICO

Il modello utilizzato per lo studio della propagazione delle onde di piena nel corso d'acqua analizzato, è l'"HEC-RAS River Analysis System", elaborato dall'Hydrologic Engineering Center del US Army Corps of Engineers degli U.S.A. (versione 4.1.0). Il modello calcola i profili di moto permanente gradualmente vario per corsi d'acqua monodimensionali in regime di corrente lenta, veloce o mista. Il programma è in grado di calcolare e gestire i profili per una rete di canali naturali o artificiali, in un sistema ad albero o a singolo ramo. Le relazioni fondamentali della formulazione matematica sono le equazioni del moto permanente nell'espressione classica dell'equazione monodimensionale dell'energia secondo Manning. Le perdite valutate sono quelle d'attrito (secondo Manning), valutate per le diverse parti della sezione



trasversale (canale centrale, sponde laterali e golene) e quelle causate dalla contrazione o espansione delle sezioni (tramite un coefficiente che moltiplica la variazione dell'altezza cinetica). L'equazione della quantità di moto è utilizzata nei punti dove il profilo del pelo libero subisce brusche variazioni ovvero in regime misto nel passaggio da corrente veloce a corrente lenta oppure in corrispondenza di ponti, traverse e sottopassi o alla confluenza di più rami di una rete.

Il modello richiede oltre alla geometria generale del corso d'acqua, profili e sezioni trasversali, i dati di portata in ingresso da monte ed in tutte le sezioni ove sono conosciuti ed anche le condizioni al contorno a seconda del regime di moto della corrente. L'equazione generale dell'energia è la seguente:

$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + h_e$$

dove:

$Y_1, Y_2$  altezza idrometrica nella sezione 1 e 2,

$Z_1, Z_2$  quota del fondo alveo nelle sezioni 1 e 2,

$V_1, V_2$  velocità medie (portata totale/ area bagnata) nelle sezioni 1 e 2,

$\alpha_1, \alpha_2$  coefficienti di velocità,

$h_e$  perdita di carico nel tratto 1-2.

La perdita di carico tra due sezioni trasversali è calcolata come somma delle perdite distribuite per attrito e di quelle concentrate per effetto di contrazioni o allargamenti bruschi di sezione secondo l'equazione:

$$h_e = LS_f + C \left( \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} - \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} \right)$$

dove:

$L$  distanza pesata, in funzione della portata, tra le due sezioni trasversali 1 e 2,

$S_f$  pendenza motrice tra le sezioni 1 e 2,

$C$  coefficiente di perdita di carico per contrazione o allargamento di sezione.

La pendenza d'attrito  $S_f$  viene valutata secondo l'espressione di Manning:

$$S_f = n^2 Q |Q| / (A^2 R^{4/3}) \quad (3)$$

dove  $n$  è il coefficiente di resistenza di Manning (che vale anche  $n=1/c$  con  $c$  di Gauckler-Strickler) ed  $R$  è il raggio idraulico.



L'equazione differenziale del moto è integrata per via numerica, attraverso un insieme di fasi iterative che sono ripetute più volte per affinarne la risoluzione; per la determinazione dei profili è quindi necessario fornire le condizioni iniziali di portata in ingresso e le condizioni al contorno in funzione del regime di moto.

L'ipotesi di stazionarietà è a favore di sicurezza in termini di livelli idrici massimi, poiché implica l'esaurimento delle capacità laminative del corso d'acqua.

### 5.3 LE IPOTESI DEL CALCOLO IDRAULICO

Il calcolo dei massimi livelli di piena procede sulla base delle equazioni classiche dell'idraulica dei moti a pelo libero; in particolare sono integrate numericamente le equazioni differenziali per correnti monodimensionali su alveo prismatico, in condizione di moto permanente. Inoltre, l'ipotesi di monodimensionalità è ampiamente giustificata per la conformazione morfologica dell'alveo esaminato; essa risulta poco corretta solo in corrispondenza di brusche variazioni nella geometria della sezione liquida trasversale, ma in tali circostanze il raffittimento del rilievo geometrico limita le possibili fonti di imprecisione.

La scabrezza dell'alveo è stata espressa attraverso il coefficiente  $c$  di Gauckler-Strickler (trattasi più propriamente di una misura di "liscezza" delle sponde e del fondo): è stato adottato un valore compreso tra 20 e 35  $m^{1/3}/s$ . Il valore utilizzato è stato mutuato dall'esperienza, dalla letteratura e dai rilievi effettuati in loco.

Inoltre, ai fini di verificare il comportamento del corso d'acqua al variare delle condizioni idrometriche del reticolo ricettore, costituito dalla confluenza nel fiume Po, sono state imposte due distinte condizioni al contorno di valle:

- Deflusso non rigurgitato. Partendo dal presupposto che i tempi di corrivazione dei due corpi idrici, colo Fossadone e fiume Po, hanno ordini di grandezza completamente diversi, sono stati calcolati i principali parametri idraulici imponendo come condizione al contorno di valle la cadente idraulica di moto uniforme (0.0002);
- Deflusso rigurgitato. Nell'ipotesi di contemporaneità delle piene dei due corsi d'acqua, corrispondente ad una condizione di massima piena nel cavo Fossadone per un livello idrometrico di Po corrispondente alla piena con tempo di ritorno pari ad 1 anno (34.66 m s.l.m.), sono stati calcolati gli effetti idrodinamici di rigurgito e quindi le variazioni principali rispetto ai parametri relativi al deflusso non rigurgitato.



---

## 5.4 OBIETTIVI DELL'ANALISI IDRODINAMICA

---

Il reticolo scolante Fregalino – Bonetti – Fossadone è stato modellato, nello stato di fatto, al fine di quantificare la portata massima sostenibile alle diverse sezioni. Lo scenario di simulazione, inoltre, è funzionale all'individuazione e gerarchizzazione delle criticità idrauliche e alla determinazione dell'entità delle stesse mediante confronto iterativo con l'analisi idrologica precedentemente illustrata.

---

## 5.5 SCENARI DI CALCOLO E PORTATE IN INGRESSO

---

Lo scenario di modellazione idrodinamica simulato è quello corrispondente allo stato di fatto dei luoghi alla data del rilievo topografico associato al presente studio e descritto nel capitolo 2 della presente relazione (Ottobre 2011). L'analisi idrologica, realizzata col metodo afflussi/deflussi, ha portato alla definizione delle portate in ingresso dai molteplici corsi d'acqua che recapitano le proprie acque all'interno del sistema Fregalino – Fossadone. Attraverso l'iterazione tra i risultati delle due analisi, è stato quindi possibile individuare e gerarchizzare le principali criticità idrauliche del territorio della porzione orientale della pianura cremonese.

In particolare sono stati simulati tre scenari di calcolo:

- Scenario 1 è funzionale alla determinazione della portata massima sostenibile nello stato di fatto. L'analisi è stata condotta nell'ipotesi di deflusso non rigurgitato dal corpo idrico ricettore (fiume Po) e le portate in ingresso sono state calibrate allo scopo;
- Scenario 2 è funzionale all'individuazione e gerarchizzazione delle principali criticità idrauliche. In questo secondo scenario sono state introdotte, indipendentemente dalla capacità ricettiva del corso d'acqua, le portate massime sostenibili in ingresso da tutti i corsi d'acqua afferenti al reticolo principale e generate da un evento pluviometrico con tempo di ritorno pari a 100 anni. L'analisi, come nella simulazione precedente, è stata condotta nell'ipotesi di deflusso non rigurgitato e per consentire l'individuazione delle criticità idrauliche e la stima dei tiranti di allagamento sono stati lanciati nel modello diversi valori di portata, variabili dai 3 a i 7.5 m<sup>3</sup>/s calibrati tenendo in considerazione la potenzialità degli apporti esterni;
- Scenario 3 mostra le variazioni, rispetto al precedente scenario 2, sui principali parametri idraulici in studio nell'ipotesi di un livello idrometrico di Po corrispondente alla piena con TR 1 anno (Q<sub>max1</sub>).



## 5.6 RISULTATI ANALISI IDRAULICA

### 5.6.1 SCENARIO 1

La Tabella 5-1 riporta le portate massime sostenibili, per tratti, risultanti dalla simulazione.

TABELLA 5-1 PORTATE MASSIME SOSTENIBILI SUDDIVISE PER TRATTI SUL RETICOLO PRINCIPALE FREGALINO – BONETTI - FOSSADONE

RETICOLO FREGALINO - BONETTI - FOSSADONE	
Sezione	QMS
	(m <sup>3</sup> /s)
FrS01	3
FrS11	3
FrS14M	4
FrS18	4
BoS01	4
BoS08	6
ReS08	2.5
FoS04	3
FoS06	5
FoS08	5

Di seguito si riportano il profilo di rigurgito, alcune sezioni ritenute più significative e la tabella riepilogativa dei principali parametri idraulici calcolati.





RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO PER I TERRITORI DELLA PROVINCIA DI CREMONA AFFERENTI AL RETICOLO IDRICO PRINCIPALE FREGALINO - FOSSADONE E CHE COINVOLGE PARTE DEI COMUNI DEL TERRITORIO CREMONESE ORIENTALE

PROVINCIA DI CREMONA  
Ufficio Protezione Civile

Relazione idrologica e idraulica

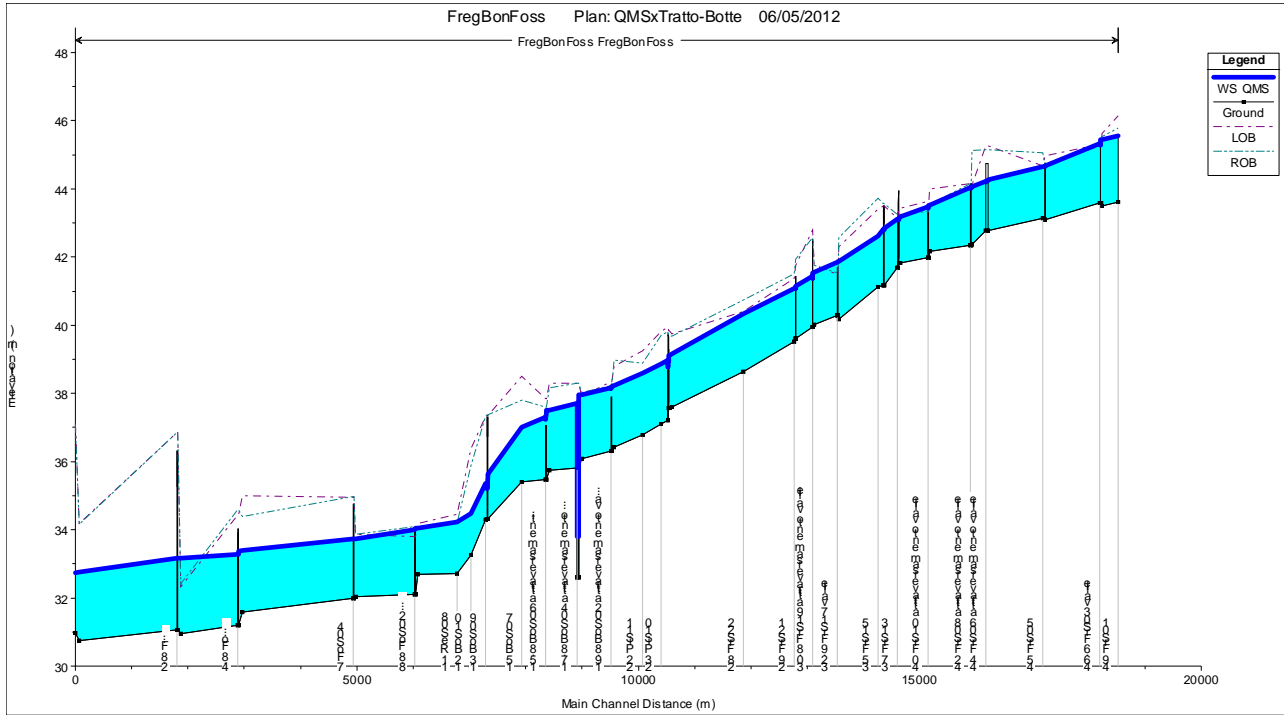


FIGURA 5-2 PROFILO DI RIGURGITO SIM. 1

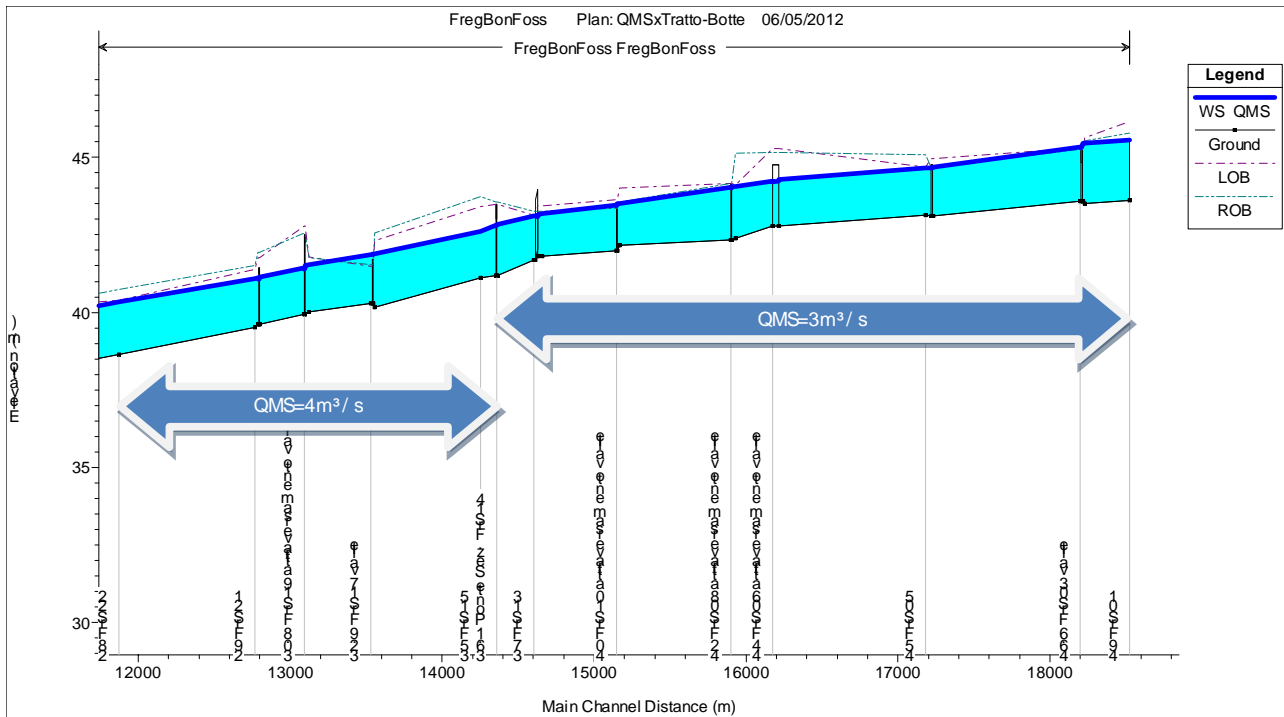


FIGURA 5-3 PROFILO DI RIGURGITO SIM.1 TRATTO DALLA SEZIONE FR01 ALLA FR022 CON INDICAZIONE DELLA PORTATA MASSIMA SOSTENIBILE



RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO PER I TERRITORI DELLA PROVINCIA DI CREMONA AFFERENTI AL RETICOLO IDRICO PRINCIPALE FREGALINO – FOSSADONE E CHE COINVOLGE PARTE DEI COMUNI DEL TERRITORIO CREMONESE ORIENTALE

PROVINCIA DI CREMONA  
Ufficio Protezione Civile

Relazione idrologica e idraulica

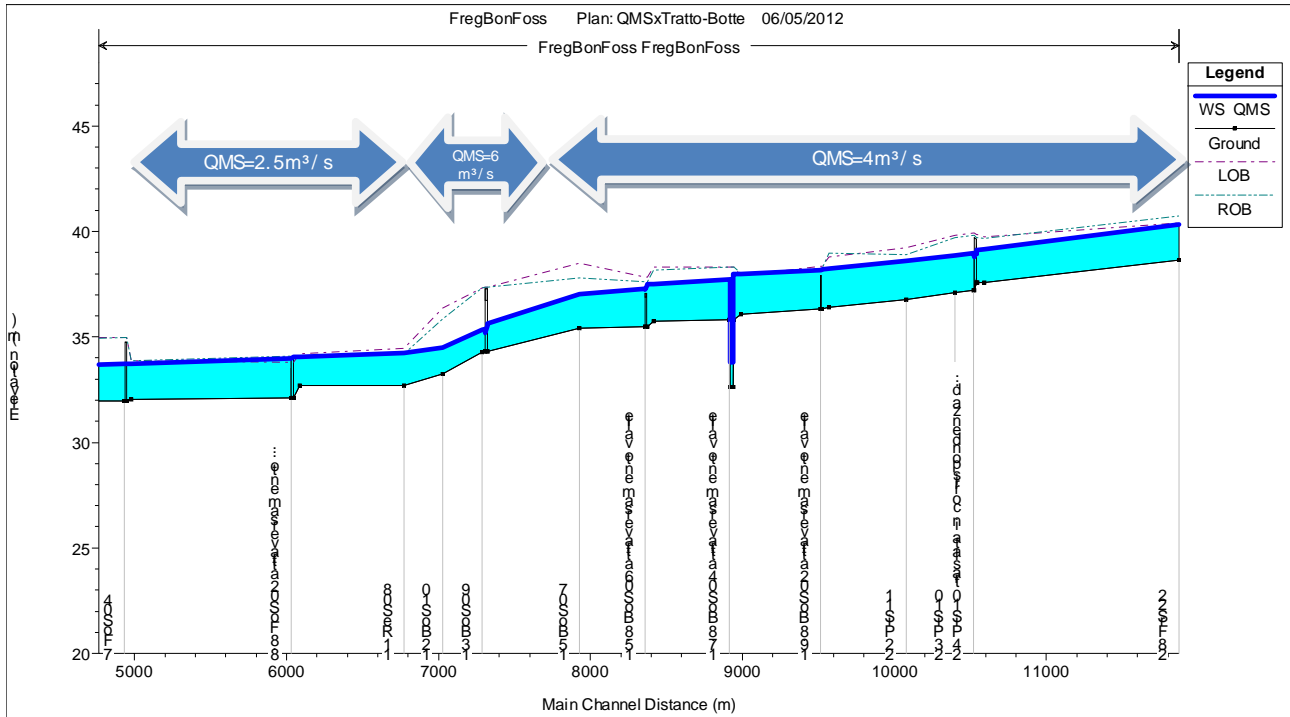


FIGURA 5-4 PROFILO DI RIGURGITO SIM.1 TRATTO DALLA SEZIONE FRs22 ALLA Fos04 CON INDICAZIONE DELLA PORTATA MASSIMA SOSTENIBILE

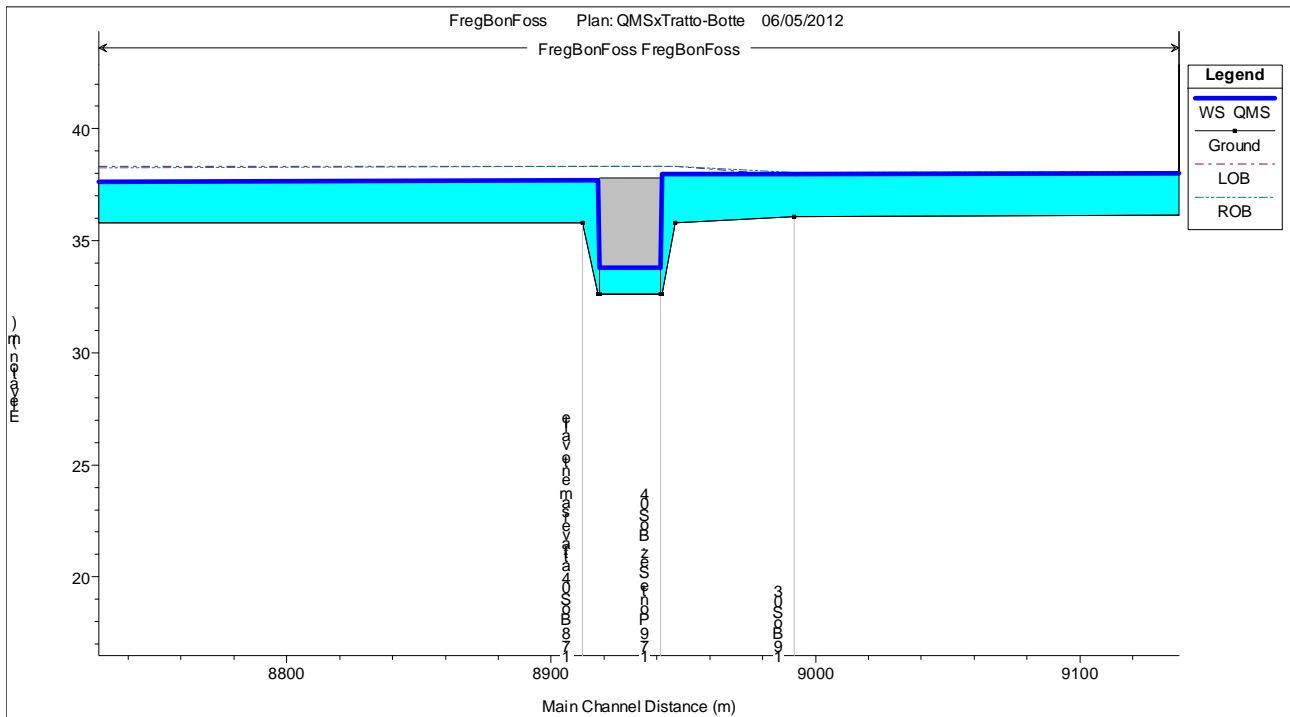


FIGURA 5-5 PROFILO DI RIGURGITO SIM.1 PARTICOLARE BOTTE A SIFONE DI ATTRAVERSAMENTO DEL CANALE DI FOCE MORBASCO



RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO PER I TERRITORI DELLA PROVINCIA DI CREMONA AFFERENTI AL RETICOLO IDRICO PRINCIPALE FREGALINO - FOSSADONE E CHE COINVOLGE PARTE DEI COMUNI DEL TERRITORIO CREMONESE ORIENTALE

PROVINCIA DI CREMONA  
Ufficio Protezione Civile

Relazione idrologica e idraulica

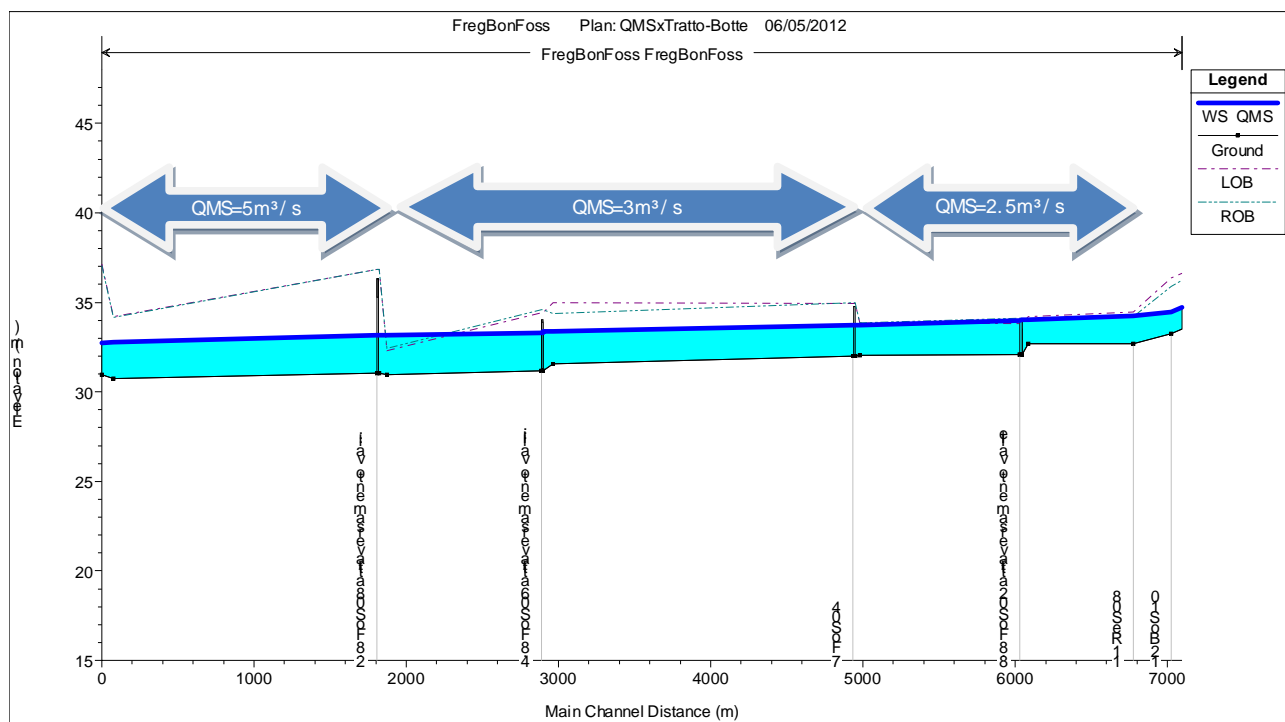


FIGURA 5-6 PROFILO DI RIGURGITO SIM. 1 TRATTO DALLA SEZIONE FoS04 ALLA FoS10 CON INDICAZIONE DELLA PORTATA MAX SOSTENIBILE

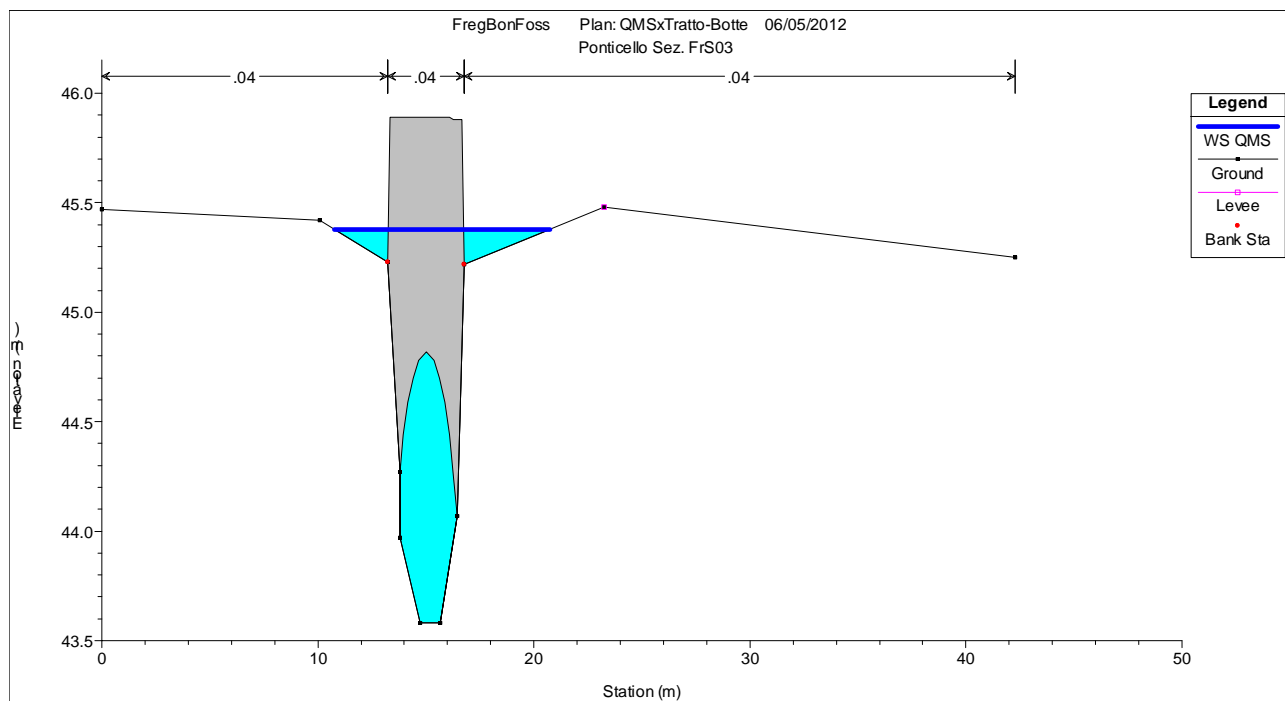


FIGURA 5-7 PROFILO DI RIGURGITO IN CORRISPONDENZA SEZ. FR03 NELLA CONFIGURAZIONE DI SIM. 1 (LOCALITÀ PORCELLASCHINO)

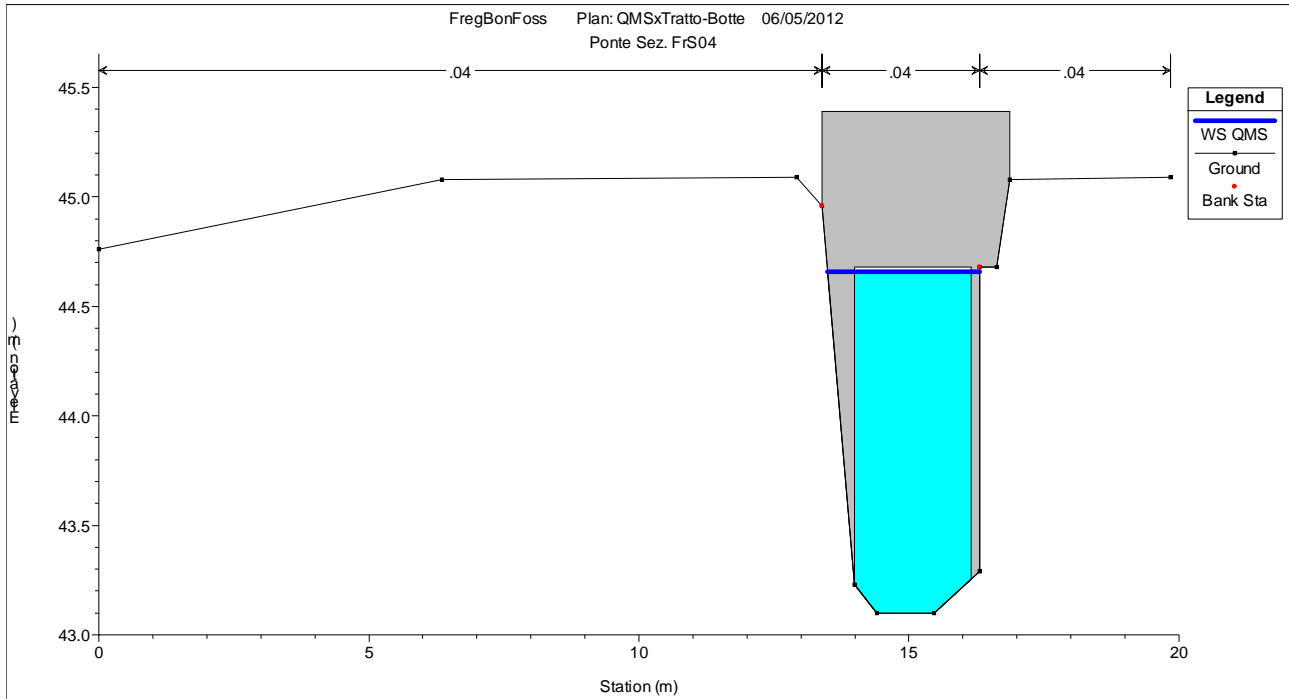


FIGURA 5-8 PROFILO DI RIGURGITO IN CORRISPONDENZA SEZ. FrS04 NELLA CONFIGURAZIONE DI SIM. 1 IN (ATTRAVERSAMENTO SP83)

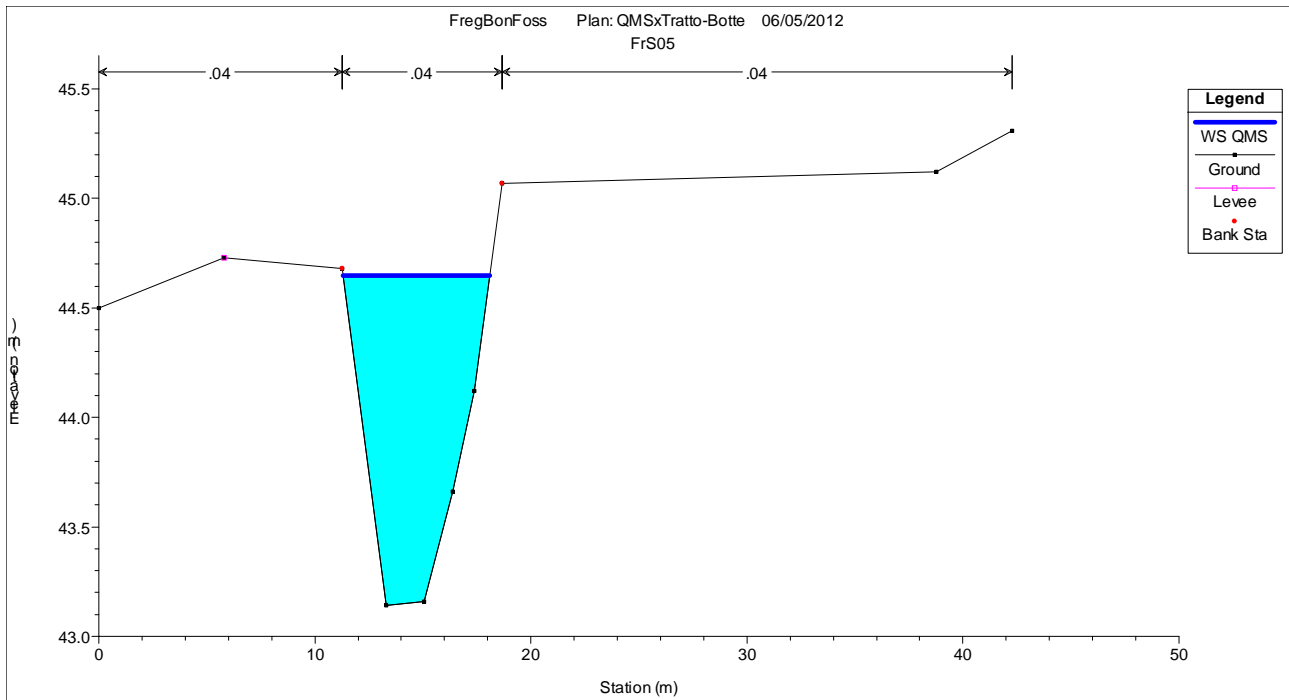


FIGURA 5-9 PROFILO DI RIGURGITO IN CORRISPONDENZA DELLA SEZIONE FrS05 NELLA CONFIGURAZIONE DI SIMULAZIONE 1



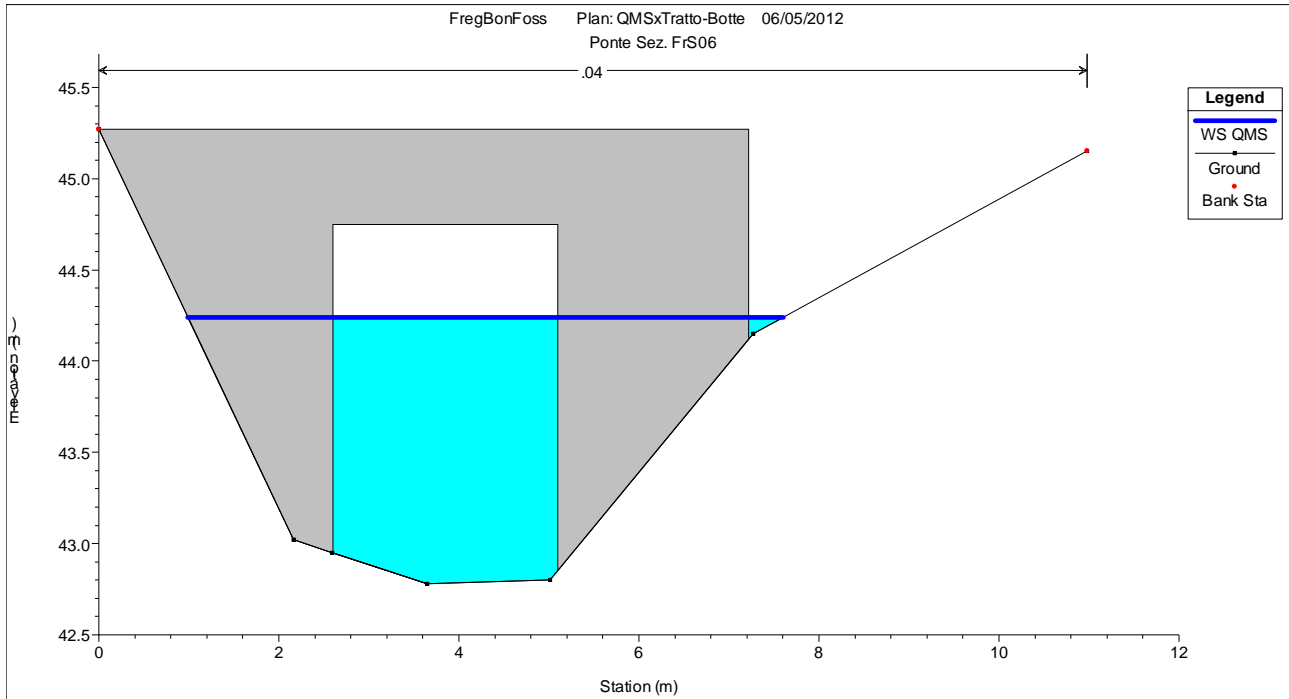


FIGURA 5-10 PROFILO DI RIGURGITO IN CORRISPONDENZA SEZ. FR S06 NELLA CONFIGURAZIONE DI SIM. 1 IN (ATTRAVERSAMENTO A21)

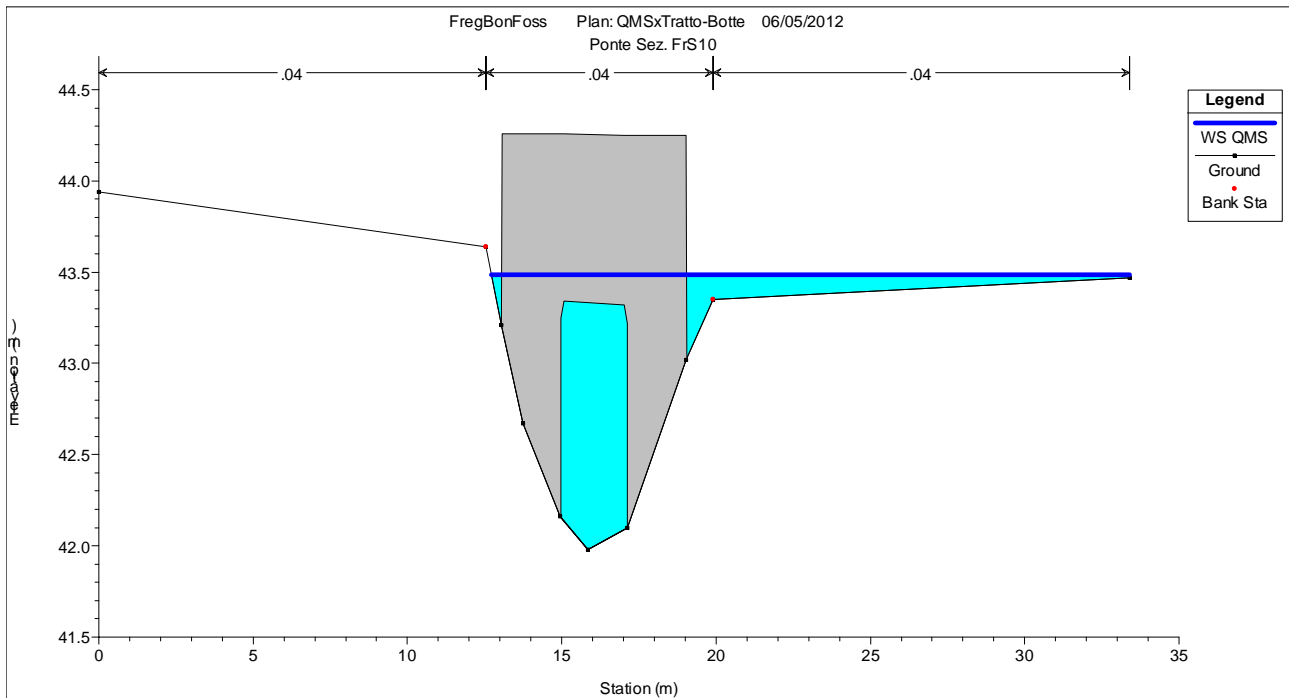


FIGURA 5-11 PROFILO DI RIGURGITO IN CORRISPONDENZA SEZ. FR S10 NELLA CONFIGURAZIONE DI SIM. 1 (LOCALITÀ CASCINA STROZZO)

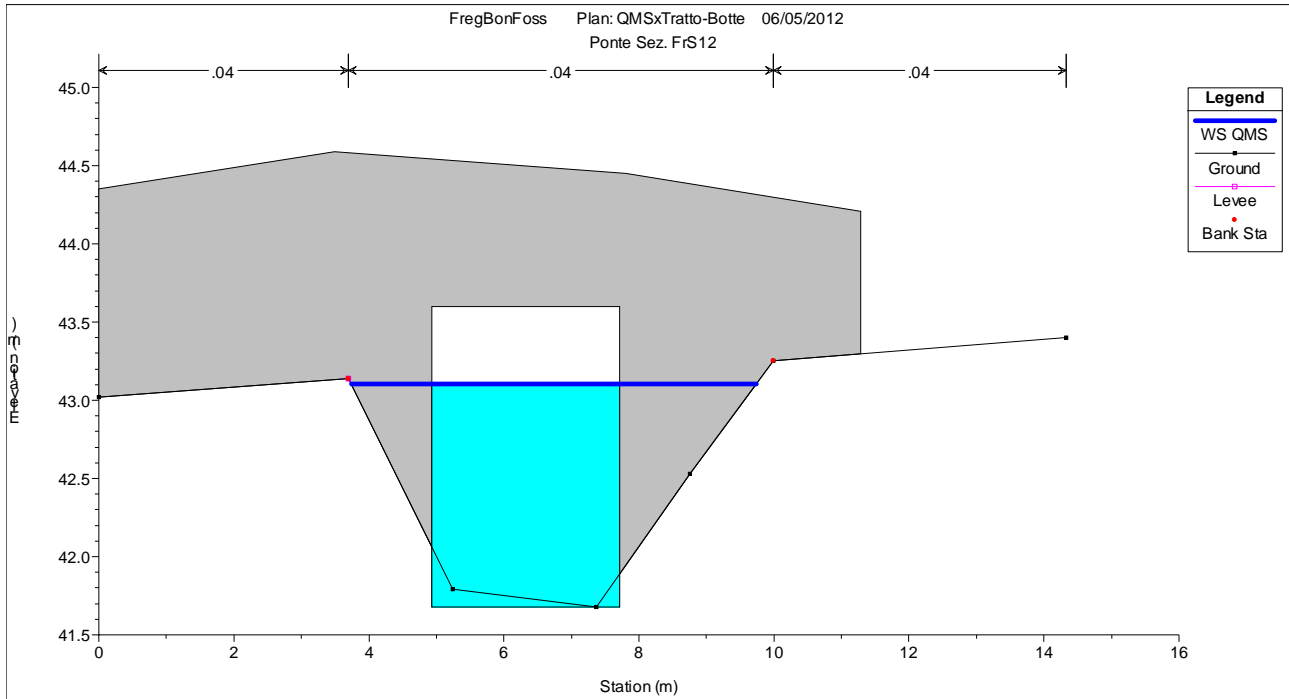


FIGURA 5-12 PROFILO DI RIGURGITO IN CORRISPONDENZA SEZ. FR S12 NELLA CONFIGURAZIONE DI SIM. 1 (ATTRAVERSAMENTO SS10)

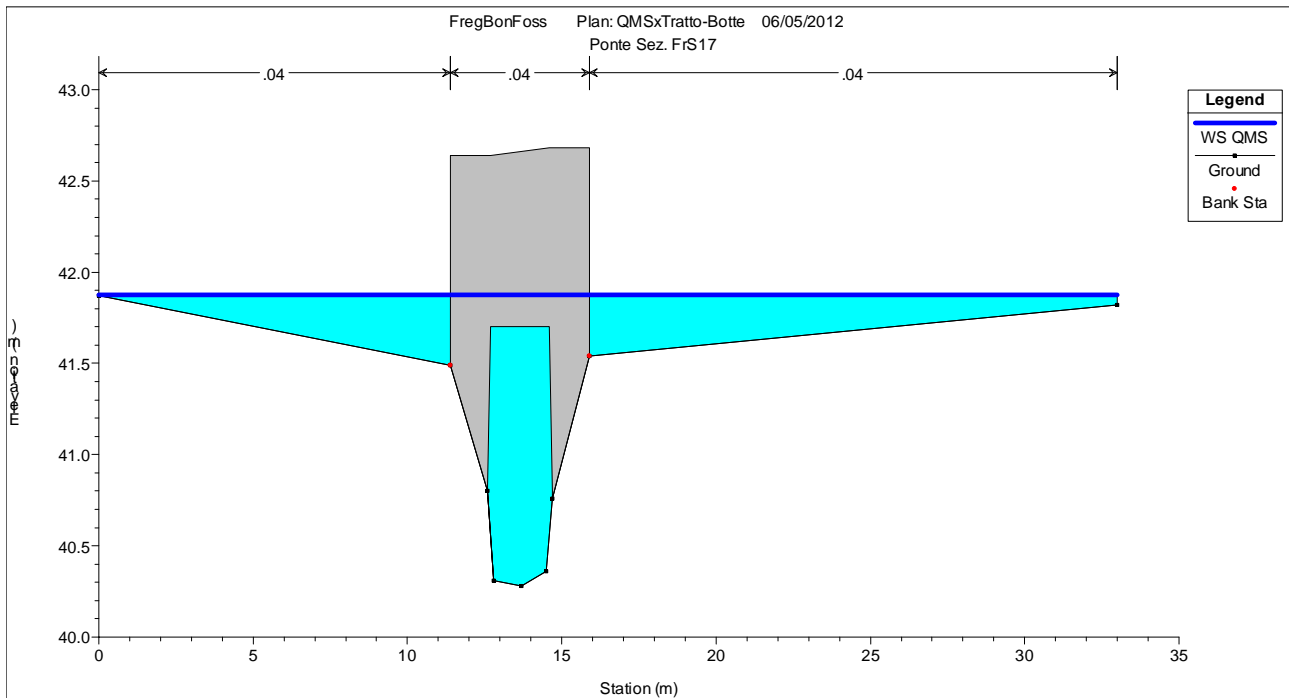


FIGURA 5-13 PROFILO DI RIGURGITO IN CORRISPONDENZA SEZ. FR S17 NELLA CONFIGURAZIONE DI SIM. 1 (LOCALITÀ S. SAVINO)

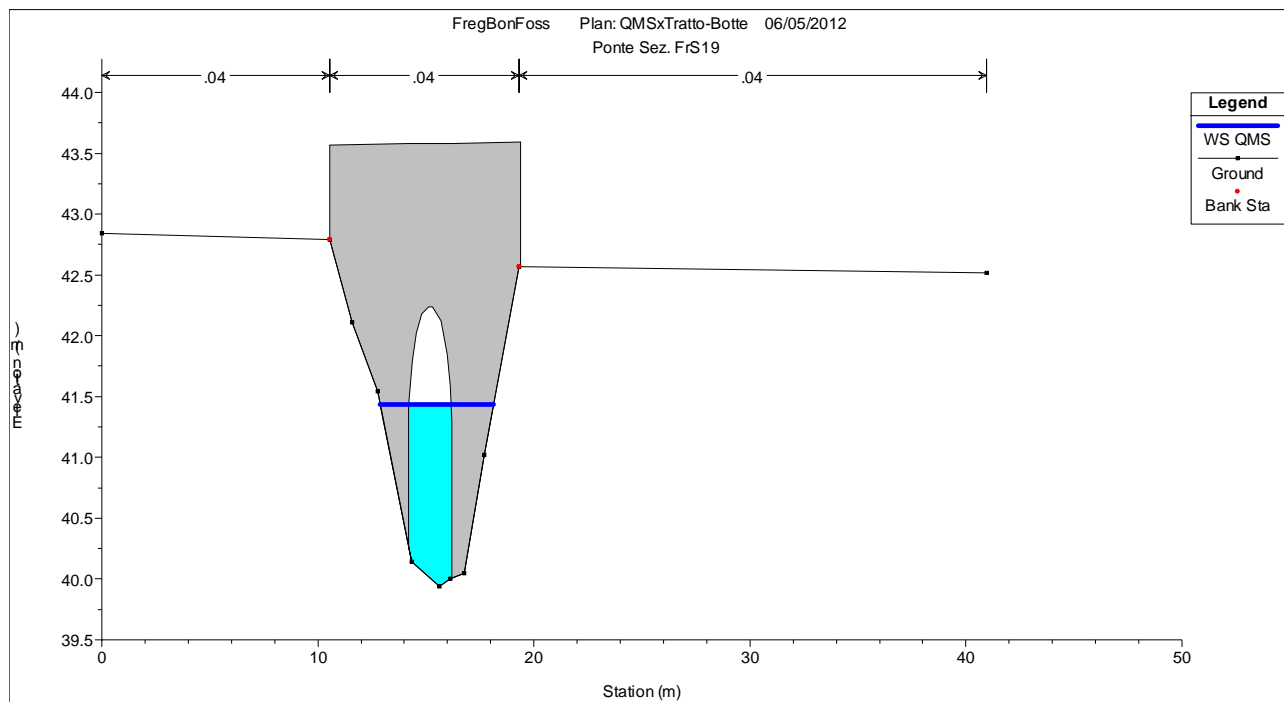


FIGURA 5-14 PROFILO DI RIGURGITO IN CORRISPONDENZA SEZ. FR S19 NELLA CONFIGURAZIONE DI SIM. 1 IN (ATTR. LINEA FFSS CR-MN)

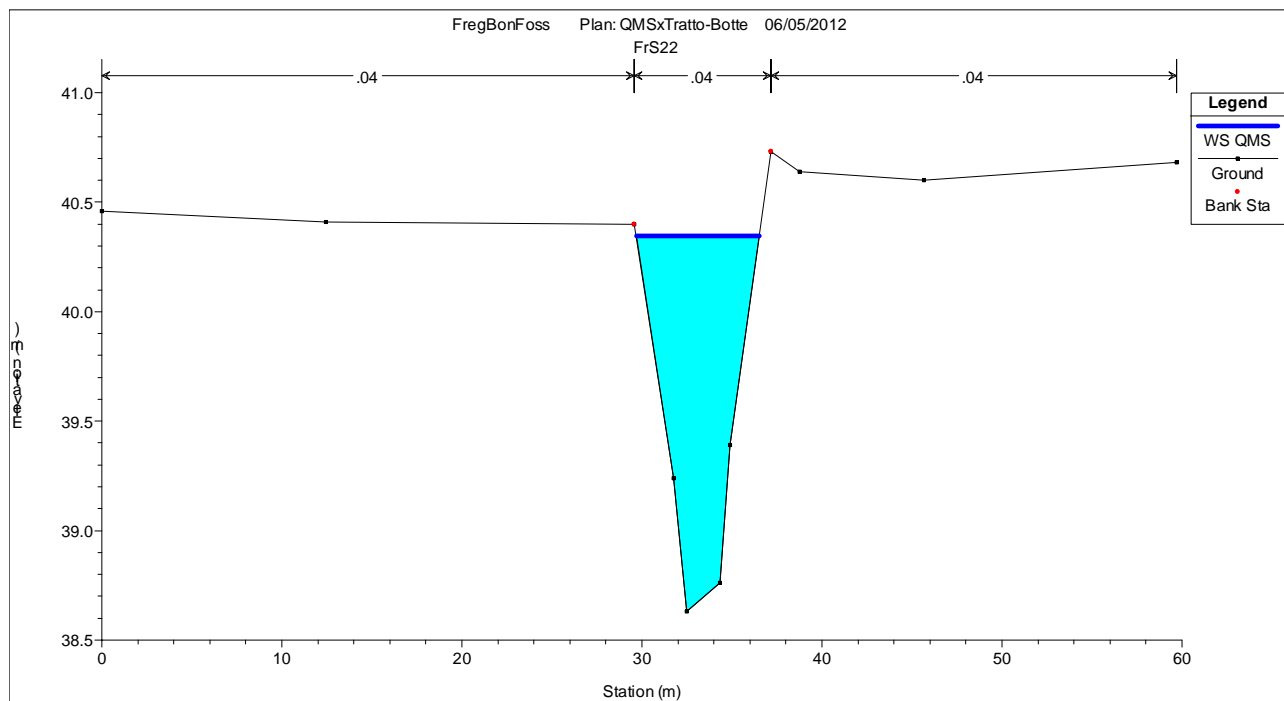


FIGURA 5-15 PROFILO DI RIGURGITO IN CORRISPONDENZA DELLA SEZIONE FR S22 NELLA CONFIGURAZIONE DI SIMULAZIONE 1

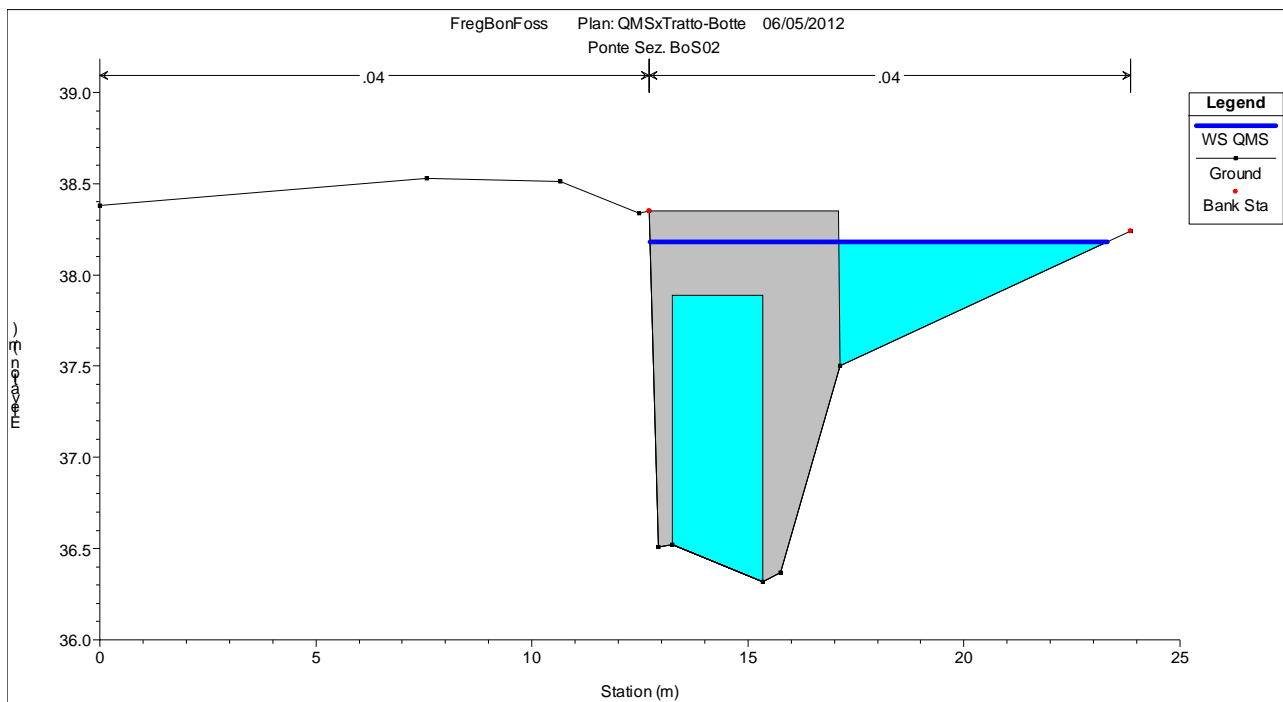


FIGURA 5-16 PROFILO DI RIGURGITO IN CORRISPONDENZA SEZ. BoS02 NELLA CONFIGURAZIONE DI SIM. 1 (LOCALITÀ BONEMERSE)

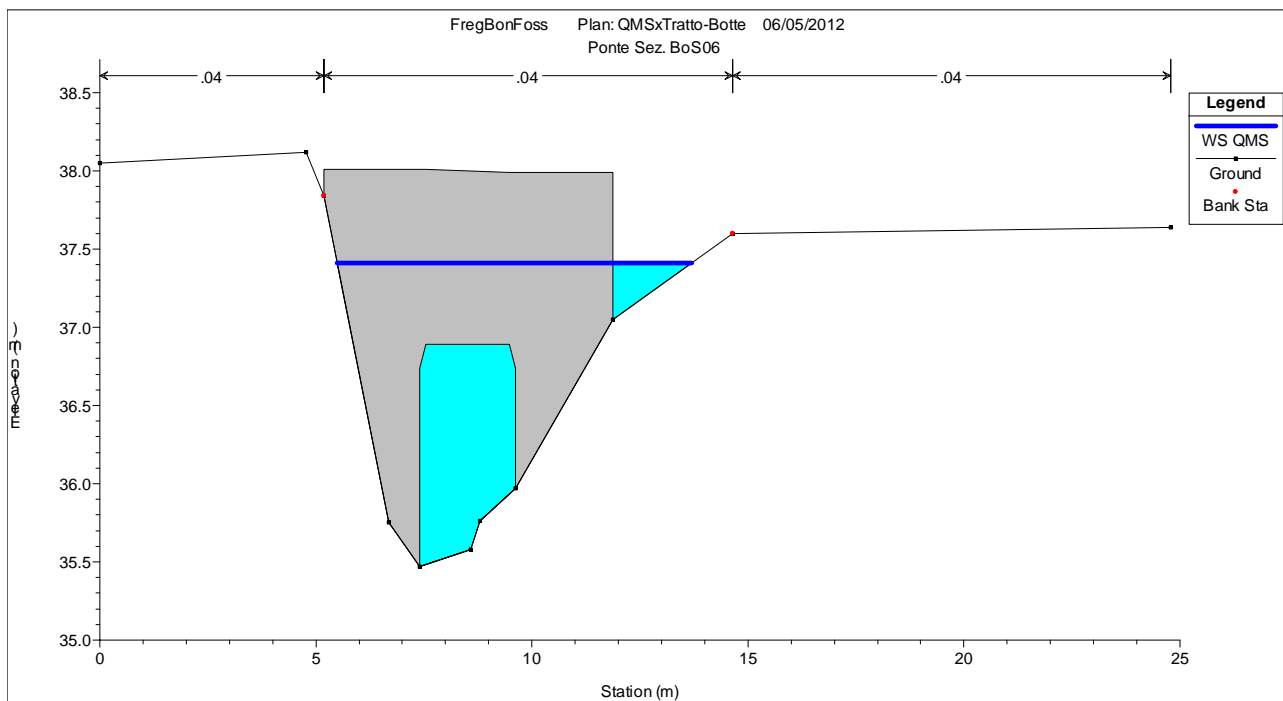


FIGURA 5-17 PROFILO DI RIGURGITO IN CORRISPONDENZA SEZ. BoS06 NELLA CONFIGURAZIONE DI SIM. 1 (ATTRAVERSAMENTO SP59)



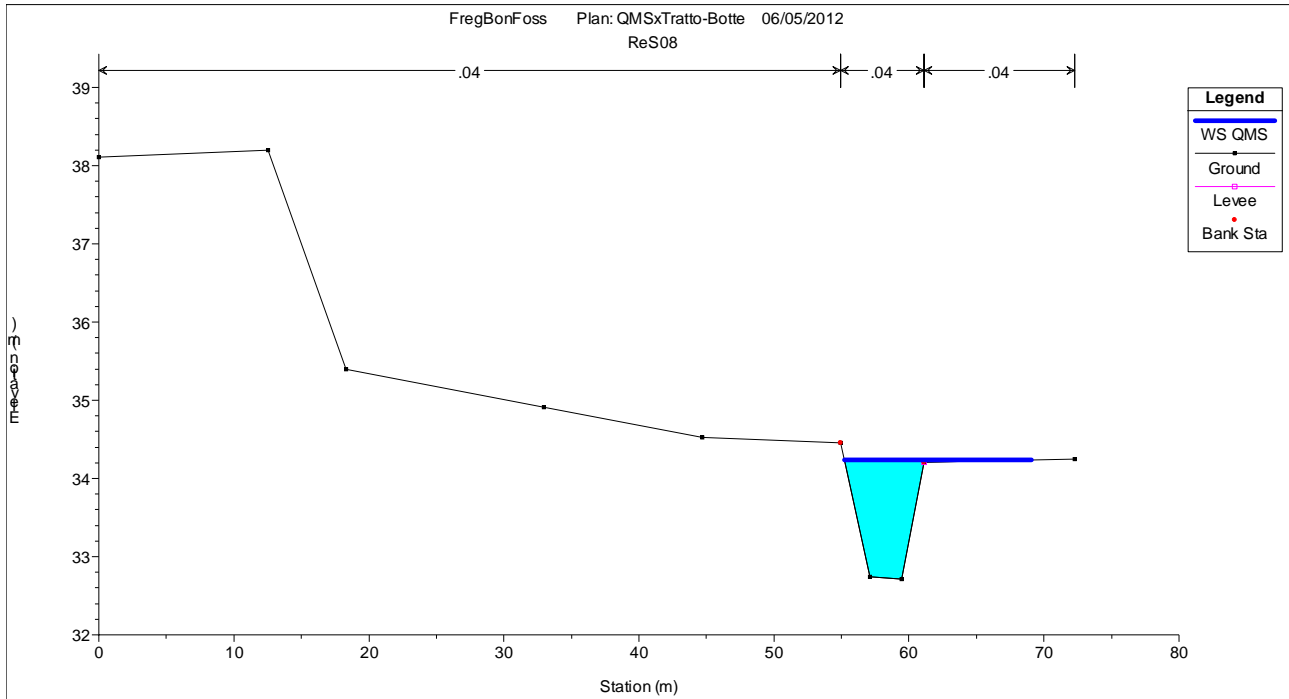


FIGURA 5-18 PROFILO DI RIGURGITO IN CORRISPONDENZA DELLA SEZ. RES08 NELLA CONFIGURAZIONE DI SIM. 1 (CONFLUENZA REALINO)

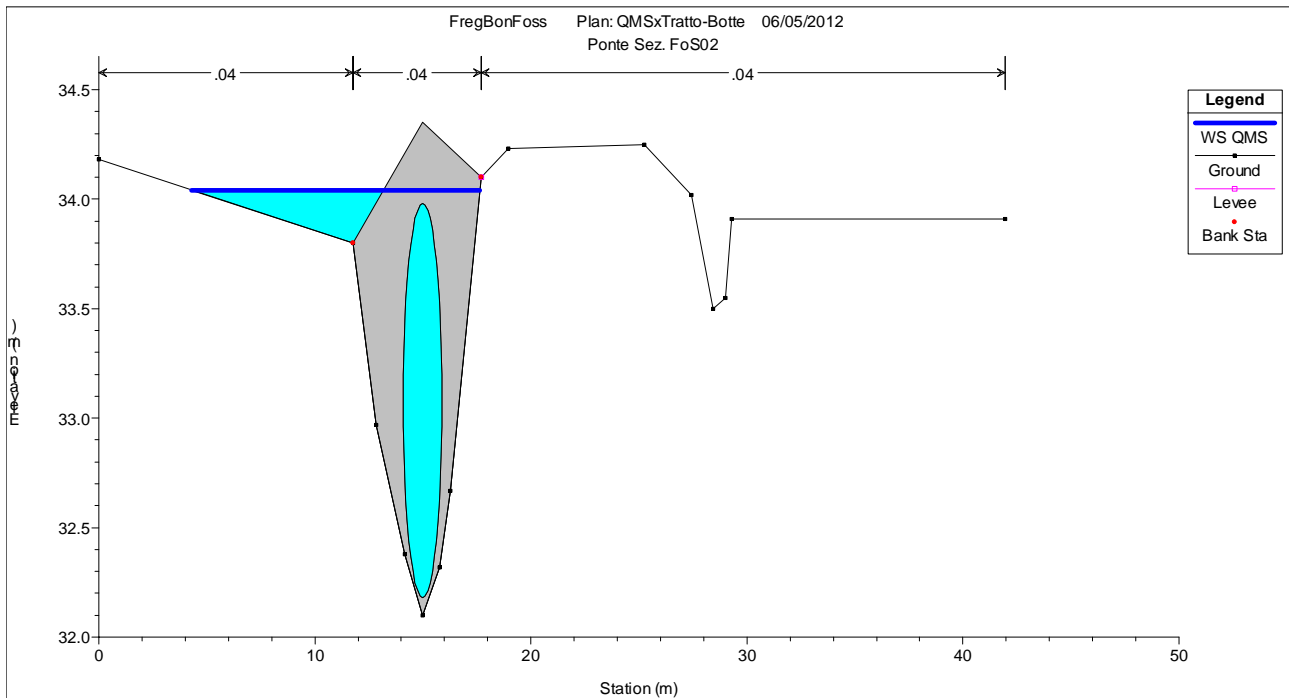


FIGURA 5-19 PROFILO DI RIGURGITO IN CORRISPONDENZA SEZ. FOS02 NELLA CONFIG. SIM. 1 (LOCALITÀ CASCINA S. GIOVANNI)

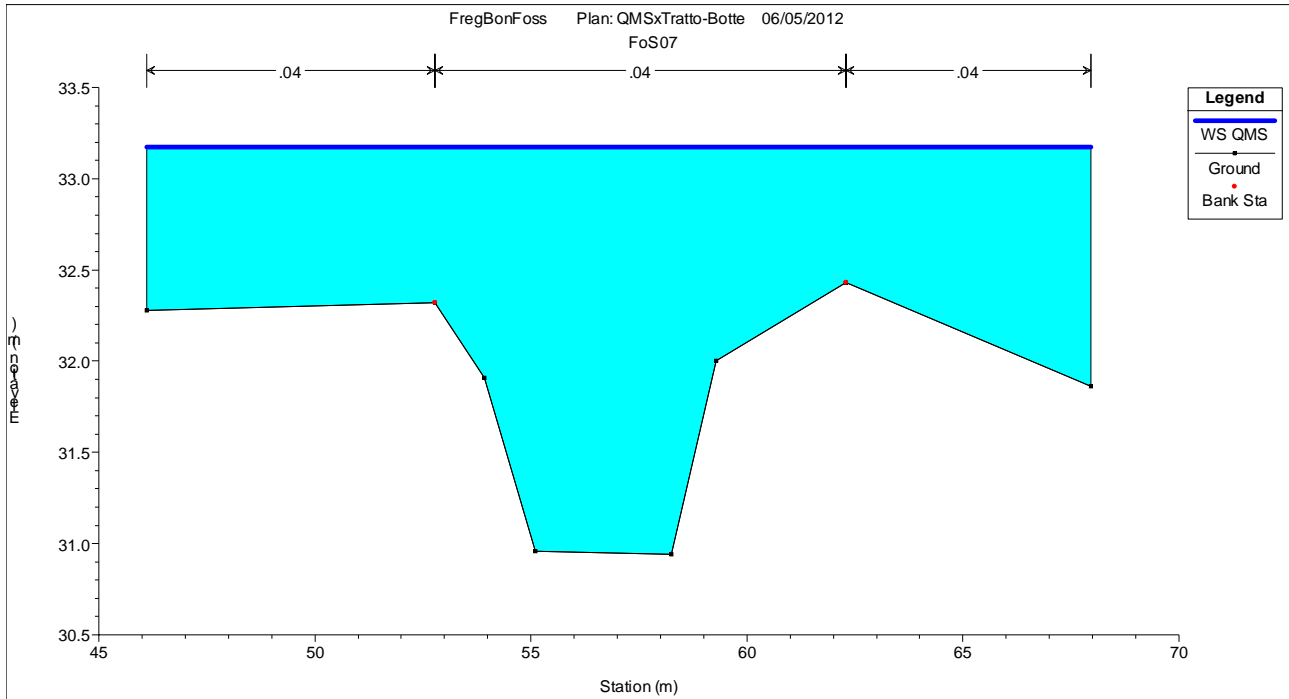


FIGURA 5-20 PROFILO DI RIGURGITO IN CORRISPONDENZA SEZ. FoS07 NELLA CONFIGURAZIONE DI SIM. 1 (MONTE ATTRAVERSAMENTO SP50)

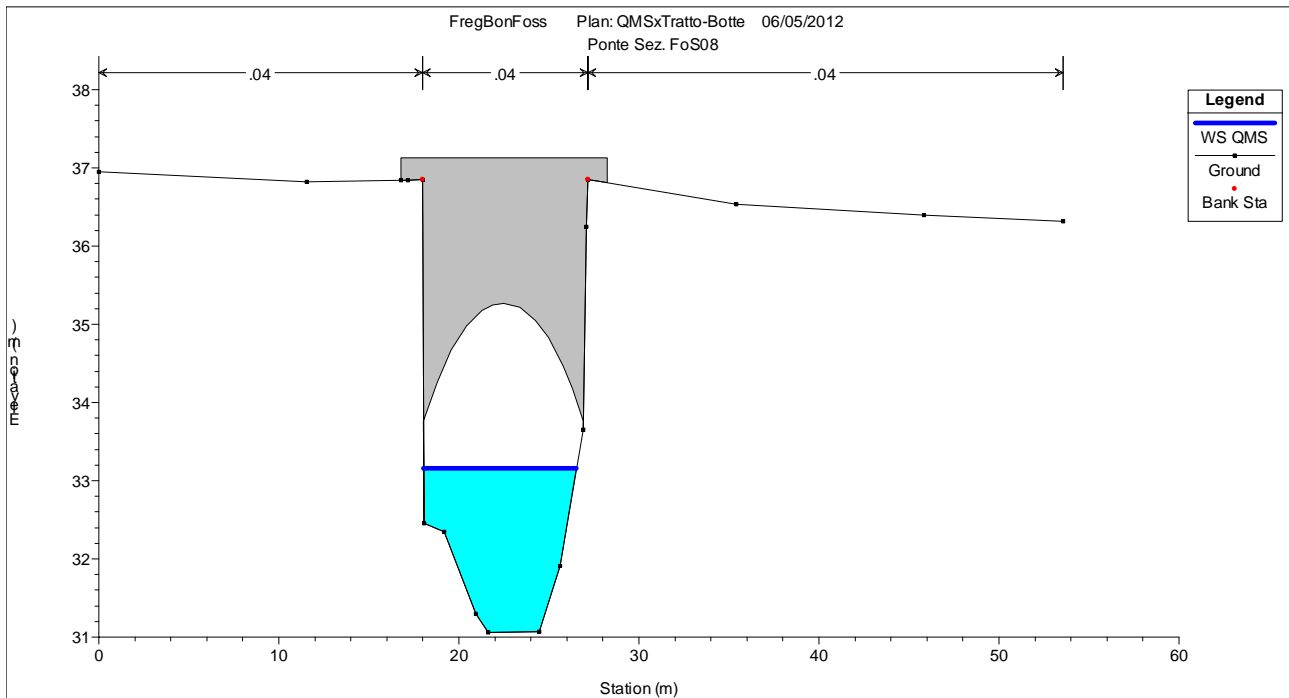


FIGURA 5-21 PROFILO DI RIGURGITO IN CORRISPONDENZA SEZ. FoS08 NELLA CONFIGURAZIONE DI SIM. 1 (ATTRAVERSAMENTO SP50)



## Risultati analisi idrodinamica SIMULAZIONE 1

Descrizione Sezione	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Thalweg (m s.l.m.)	Profilo idrometrico (m s.l.m.)	Cadente idraulica (m/m)	Velocità (m/s)
FrS01	3	43.62	45.55	0.000458	0.4
FrS02	3	43.51	45.45	0.000272	0.4
FrS03 monte	3	43.58	45.45	0.000275	0.42
FrS03 monte attraversamento	3	43.58	45.44	0.000536	0.56
Attraversamento Via Porcellasco					
FrS03 valle attraversamento	3	43.58	45.33	0.000725	0.62
FrS03 valle	3	43.58	45.34	0.000385	0.47
FrS04 monte	3	43.1	44.67	0.001412	0.77
Attraversamento Via Persico					
FrS04 valle	3	43.1	44.66	0.001455	0.78
FrS05	3	43.14	44.65	0.000381	0.45
FrS06 monte	3	42.78	44.27	0.0004	0.45
Attraversamento A21					
FrS06 valle	3	42.78	44.22	0.000452	0.48
FrS07	3	42.38	44.07	0.000798	0.6
FrS08 monte	3	42.34	44.06	0.000591	0.55
Attraversamento carraia interpodereale località Acqualunga					
FrS08 valle	3	42.34	44.04	0.000619	0.56
FrS09	3	42.16	43.52	0.000817	0.59
FrS10 monte	3	41.98	43.52	0.000302	0.4
Attraversamento carraia interpodereale località Cascina Strozzo					
FrS10 valle	3	41.98	43.47	0.000376	0.44
FrS11	3	41.82	43.18	0.000955	0.64
FrS11 traslata	3	41.82	43.15	0.001051	0.66
Attraversamento SS10					
FrS13	3	41.68	43.11	0.000614	0.54
FrS14 monte	4	41.18	42.84	0.001505	0.85
Attraversamento carraia interpodereale località Cà dell'Aia					
FrS14 valle	4	41.18	42.81	0.001631	0.88
FrS15	4	41.12	42.62	0.002115	0.93
FrS16	4	40.17	41.88	0.000658	0.6
FrS17 monte	4	40.28	41.88	0.000602	0.57
Attraversamento Via S.Savino					
FrS17 valle attraversamento	4	40.28	41.86	0.000692	0.61
FrS17 valle	4	40.28	41.85	0.00071	0.61



## Risultati analisi idrodinamica SIMULAZIONE 1

Descrizione Sezione	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Thalweg (m s.l.m.)	Profilo idrometrico (m s.l.m.)	Cadente idraulica (m/m)	Velocità (m/s)
FrS18	4	40.01	41.55	0.000758	0.64
FrS19 monte	4	39.94	41.52	0.00092	0.69
Attraversamento linea FFSS Cremona - Mantova					
FrS19 valle	4	39.94	41.44	0.001141	0.75
FrS20 monte	4	39.61	41.14	0.000966	0.7
Attraversamento Via Postumia					
FrS20 valle	4	39.61	41.1	0.001054	0.73
FrS21	4	39.51	41.08	0.000989	0.7
FrS22	4	38.63	40.34	0.000707	0.6
FrS23	4	37.59	39.16	0.001217	0.78
FrS24	4	37.58	39.12	0.001029	0.71
FrS24 traslata	4	37.58	39.11	0.00105	0.72
Scarico nel colo Paloschino					
PiS10 traslata	4	37.21	38.98	0.000941	0.7
PiS10	4	37.09	38.86	0.000927	0.69
PiS11	4	36.78	38.6	0.000736	0.64
BoS01	4	36.42	38.22	0.000745	0.64
BoS02 monte	4	36.32	38.2	0.000466	0.43
Attraversamento Via Caretolo					
BoS02 valle	4	36.32	38.16	0.000526	0.46
BoS03	4	36.08	37.97	0.000276	0.43
BoS04 monte	4	35.81	37.96	0.000148	0.32
Imbocco botte sifone	4	32.61	37.97	0.000033	0.17
Attraversamento canale di Foce Morbasco					
Sbocco botte sifone	4	32.61	37.72	0.000043	0.19
BoS04 valle	4	35.81	37.71	0.000257	0.38
BoS05	4	35.75	37.51	0.000604	0.59
BoS06 monte	4	35.47	37.5	0.000333	0.43
Attraversamento Via Casalmaggiore					
BoS06 valle	4	35.47	37.29	0.000536	0.53
BoS07	4	35.41	37.01	0.000759	0.64
BoS08 monte	6	34.32	35.62	0.006746	1.64
Attraversamento Via Guglielmo Marconi					
BoS08 valle	6	34.32	35.37	0.013502	2.11
BoS09	6	34.29	35.35	0.003631	1.22
BoS10	6	33.26	34.48	0.003069	1.18





## Risultati analisi idrodinamica SIMULAZIONE 1

Descrizione Sezione	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Thalweg (m s.l.m.)	Profilo idrometrico (m s.l.m.)	Cadente idraulica (m/m)	Velocità (m/s)
ReS08	2.5	32.71	34.24	0.000301	0.4
FoS01	2.5	32.69	34.05	0.000253	0.35
FoS02 monte	2.5	32.1	34.04	0.00018	0.34
Attraversamento carraia interpodereale località Cascina S. Giovanni					
FoS02 valle	2.5	32.1	33.99	0.000208	0.36
FoS03	2.5	32.03	33.74	0.000295	0.37
FoS04 monte	3	31.98	33.73	0.000179	0.3
Attraversamento Via Cantone Solata					
FoS04 valle	3	31.98	33.73	0.000182	0.3
FoS05	3	31.58	33.4	0.000152	0.3
FoS06 monte	5	31.19	33.37	0.000432	0.54
Attraversamento carraia interpodereale località Stagno Lombardo					
FoS06 valle	5	31.19	33.28	0.000529	0.58
FoS07	5	30.94	33.17	0.000048	0.22
FoS08 monte	5	31.06	33.16	0.000175	0.38
Attraversamento SP 50					
FoS08 valle	5	31.06	33.16	0.000176	0.38
FoS09	5	30.74	32.76	0.000308	0.44
FoS10	5	30.97	32.74	0.0002	0.4



### 5.6.2 SCENARIO 2

Di seguito si riportano i risultati della seconda simulazione in termini di profilo di rigurgito e tabella riepilogativa dei principali parametri idraulici calcolati.

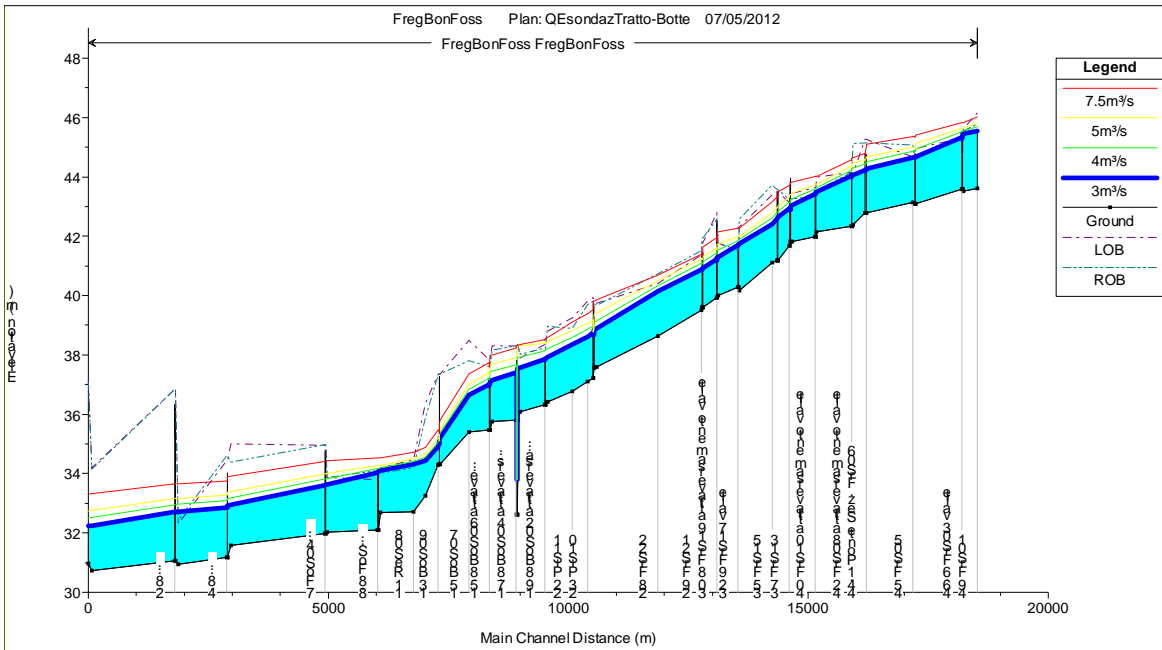


FIGURA 5-22 PROFILO DI RIGURGITO SIM. 2

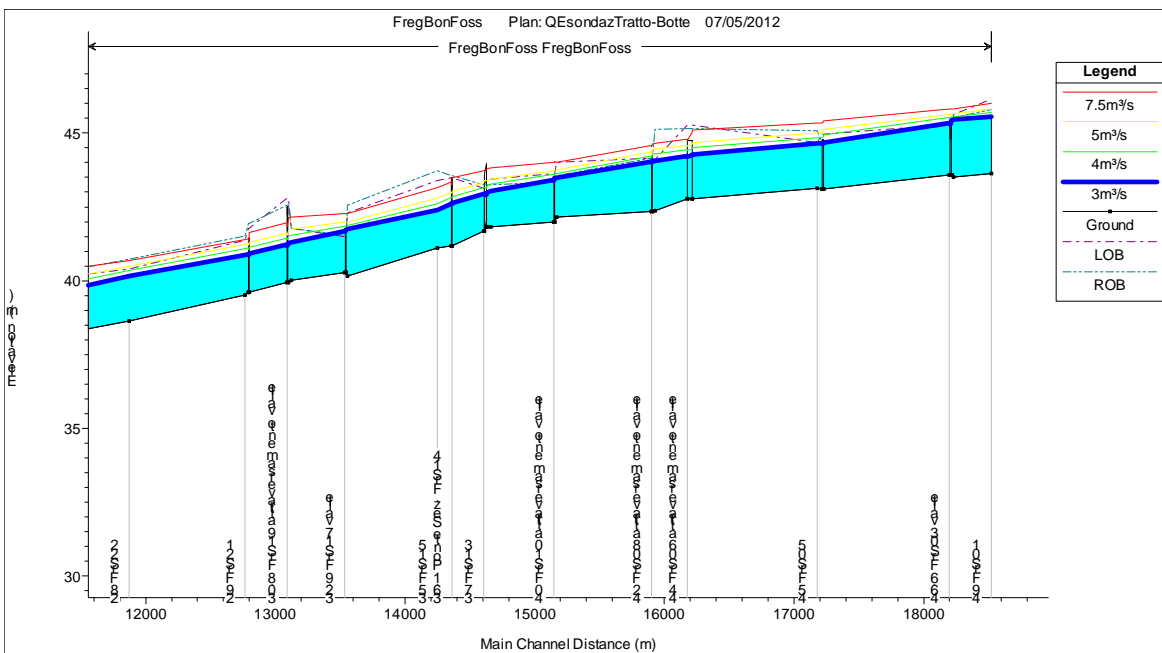


FIGURA 5-23 PROFILO DI RIGURGITO SIM. 2 TRATTO DALLA SEZIONE FR01 ALLA FR02

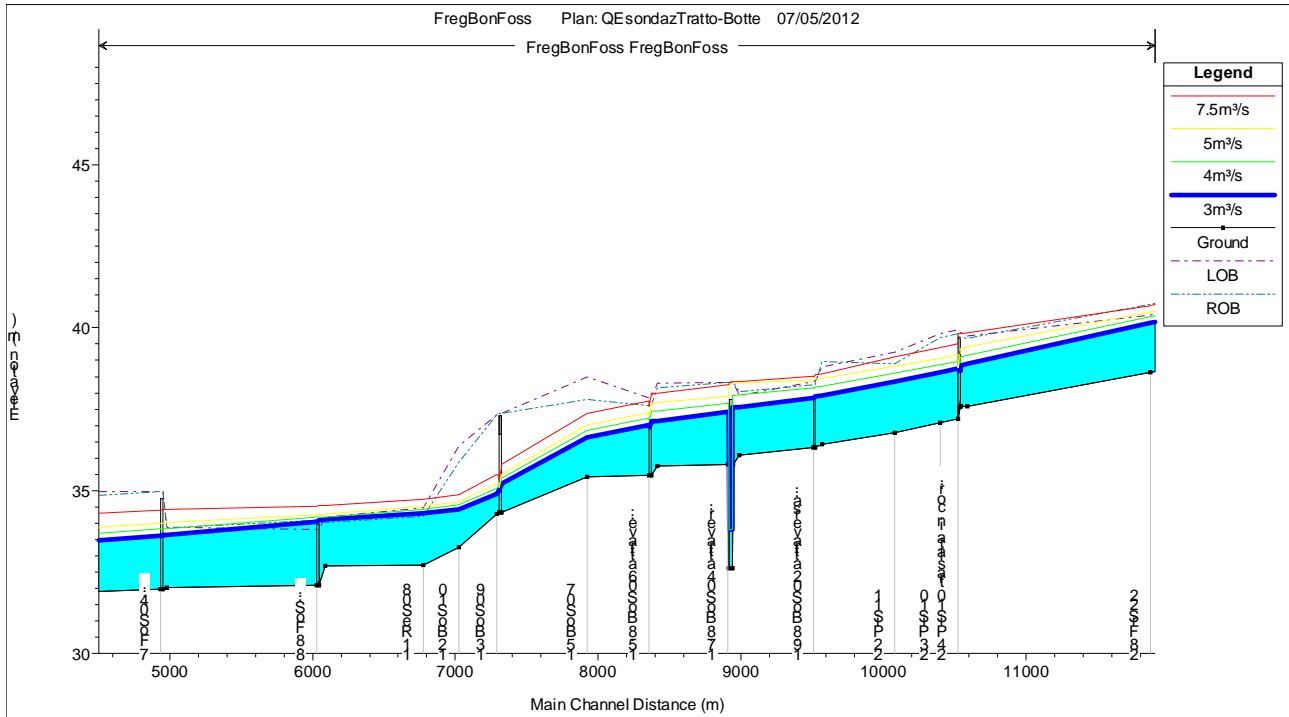


FIGURA 5-24 PROFILO DI RIGURGITO SIM.2 TRATTO DALLA SEZIONE FR522 ALLA FO504

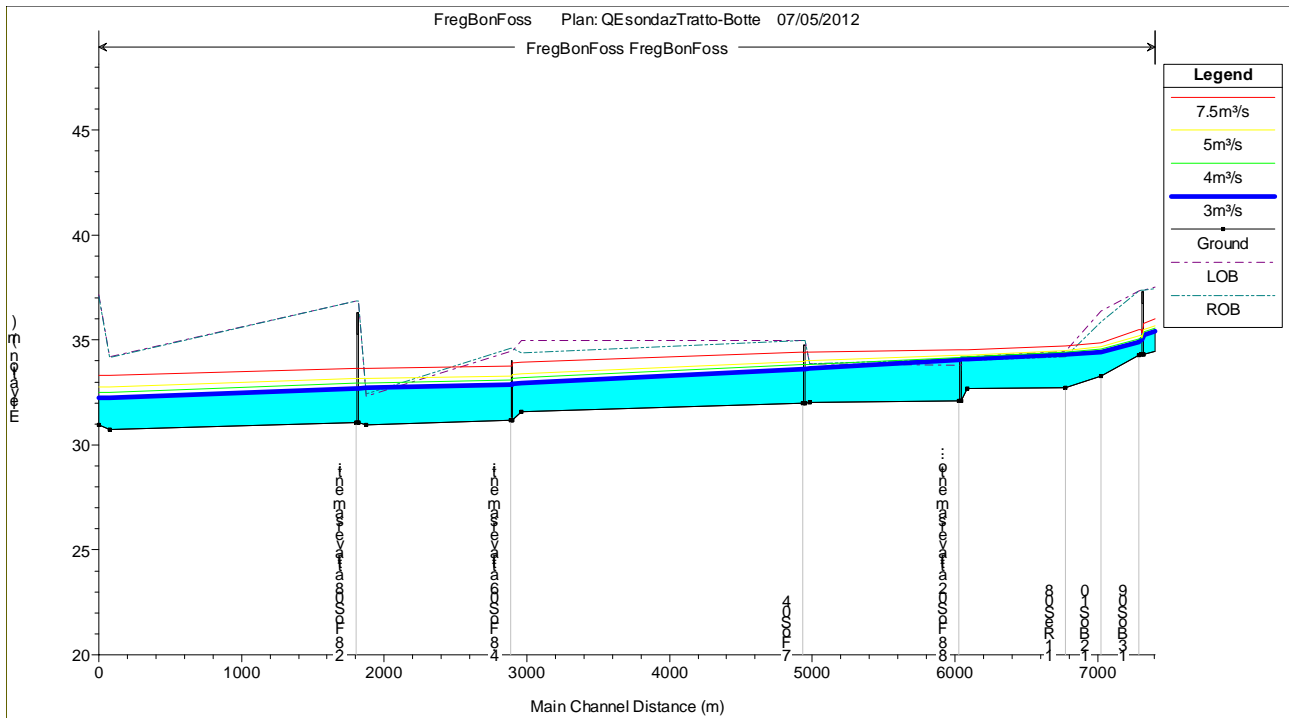


FIGURA 5-25 PROFILO DI RIGURGITO SIM.2 TRATTO DALLA SEZIONE FO504 ALLA FO510



### Risultati analisi idrodinamica SIMULAZIONE 2

Descrizione Sezione	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Thalweg (m s.l.m.)	Profilo idrometrico (m s.l.m.)	Cad. idr. (m/m)	Velocità (m/s)
FrS01	3	43.62	45.55	0.000458	0.4
FrS01	4	43.62	45.69	0.000548	0.44
FrS01	5	43.62	45.81	0.000592	0.48
FrS01	7.5	43.62	46.01	0.000568	0.54
FrS02	3	43.51	45.45	0.000272	0.4
FrS02	4	43.51	45.56	0.00038	0.49
FrS02	5	43.51	45.65	0.000461	0.57
FrS02	7.5	43.51	45.82	0.000629	0.72
FrS03 monte	3	43.58	45.45	0.000275	0.42
FrS03 monte	4	43.58	45.56	0.00025	0.43
FrS03 monte	5	43.58	45.65	0.00023	0.43
FrS03 monte	7.5	43.58	45.83	0.000216	0.45
FrS03 monte attraversamento	3	43.58	45.44	0.000536	0.56
FrS03 monte attraversamento	4	43.58	45.55	0.00043	0.53
FrS03 monte attraversamento	5	43.58	45.65	0.000357	0.5
FrS03 monte attraversamento	7.5	43.58	45.83	0.000298	0.49
Attraversamento Via Porcellasco					
FrS03 valle attraversamento	3	43.58	45.33	0.000725	0.62
FrS03 valle attraversamento	4	43.58	45.52	0.00053	0.58
FrS03 valle attraversamento	5	43.58	45.64	0.000389	0.52
FrS03 valle attraversamento	7.5	43.58	45.82	0.000309	0.5
FrS03 valle	3	43.58	45.34	0.000386	0.47
FrS03 valle	4	43.58	45.52	0.000305	0.46
FrS03 valle	5	43.58	45.64	0.000252	0.44
FrS03 valle	7.5	43.58	45.82	0.000226	0.46
FrS04 monte	3	43.1	44.67	0.001414	0.77
FrS04 monte	4	43.1	44.94	0.001412	0.84
FrS04 monte	5	43.1	45.13	0.001353	0.88
FrS04 monte	7.5	43.1	45.41	0.000934	0.8
Attraversamento Via Persico					
FrS04 valle	3	43.1	44.66	0.001457	0.78
FrS04 valle	4	43.1	44.85	0.001719	0.9
FrS04 valle	5	43.1	45	0.001892	0.99
FrS04 valle	7.5	43.1	45.35	0.00119	0.89
FrS05	3	43.14	44.65	0.000382	0.45





## Risultati analisi idrodinamica SIMULAZIONE 2

Descrizione Sezione	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Thalweg (m s.l.m.)	Profilo idrometrico (m s.l.m.)	Cad. idr. (m/m)	Velocità (m/s)
FrS05	4	43.14	44.85	0.000322	0.45
FrS05	5	43.14	45.01	0.000285	0.45
FrS05	7.5	43.14	45.35	0.000174	0.41
FrS06 monte	3	42.78	44.27	0.000402	0.45
FrS06 monte	4	42.78	44.5	0.000403	0.48
FrS06 monte	5	42.78	44.67	0.000431	0.52
FrS06 monte	7.5	42.78	45.1	0.000389	0.54
Attraversamento A21					
FrS06 valle	3	42.78	44.22	0.000454	0.48
FrS06 valle	4	42.78	44.44	0.000474	0.51
FrS06 valle	5	42.78	44.58	0.000525	0.56
FrS06 valle	7.5	42.78	44.8	0.000729	0.69
FrS07	3	42.38	44.06	0.000807	0.6
FrS07	4	42.38	44.31	0.000561	0.56
FrS07	5	42.38	44.46	0.000462	0.54
FrS07	7.5	42.38	44.65	0.000521	0.62
FrS08 monte	3	42.34	44.05	0.000596	0.55
FrS08 monte	4	42.34	44.29	0.000557	0.59
FrS08 monte	5	42.34	44.45	0.000515	0.62
FrS08 monte	7.5	42.34	44.63	0.000604	0.72
Attraversamento carraia interpodereale località Acqualunga					
FrS08 valle	3	42.34	44.03	0.000625	0.56
FrS08 valle	4	42.34	44.23	0.000671	0.63
FrS08 valle	5	42.34	44.37	0.000679	0.68
FrS08 valle	7.5	42.34	44.57	0.000745	0.78
FrS09	3	42.16	43.48	0.000908	0.62
FrS09	4	42.16	43.63	0.000998	0.7
FrS09	5	42.16	43.75	0.001057	0.76
FrS09	7.5	42.16	44.02	0.000768	0.73
FrS10 monte	3	41.98	43.48	0.000351	0.43
FrS10 monte	4	41.98	43.63	0.00032	0.44
FrS10 monte	5	41.98	43.76	0.000294	0.45
FrS10 monte	7.5	41.98	44.03	0.000223	0.45
Attraversamento carraia interpodereale località Cascina Strozzo					
FrS10 valle	3	41.98	43.43	0.000443	0.46
FrS10 valle	4	41.98	43.6	0.000377	0.47



## Risultati analisi idrodinamica SIMULAZIONE 2

Descrizione Sezione	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Thalweg (m s.l.m.)	Profilo idrometrico (m s.l.m.)	Cad. idr. (m/m)	Velocità (m/s)
FrS10 valle	5	41.98	43.73	0.000326	0.47
FrS10 valle	7.5	41.98	44.01	0.000232	0.46
FrS11	3	41.82	43.05	0.001478	0.75
FrS11	4	41.82	43.27	0.001297	0.77
FrS11	5	41.82	43.44	0.001138	0.79
FrS11	7.5	41.82	43.82	0.000642	0.73
FrS11 traslata	3	41.82	43	0.001767	0.8
FrS11 traslata	4	41.82	43.22	0.001478	0.81
FrS11 traslata	5	41.82	43.4	0.001293	0.82
FrS11 traslata	7.5	41.82	43.8	0.000685	0.75
Attraversamento SS10					
FrS13	3	41.68	42.94	0.001024	0.65
FrS13	4	41.68	43.15	0.000953	0.68
FrS13	5	41.68	43.31	0.000827	0.69
FrS13	7.5	41.68	43.71	0.00049	0.66
FrS14 monte	3	41.18	42.63	0.001471	0.79
FrS14 monte	4	41.18	42.84	0.001505	0.85
FrS14 monte	5	41.18	43.03	0.001542	0.91
FrS14 monte	7.5	41.18	43.5	0.001372	0.97
Attraversamento carraia interpodereale località Cà dell'Aia					
FrS14 valle	3	41.18	42.61	0.00158	0.81
FrS14 valle	4	41.18	42.81	0.001631	0.88
FrS14 valle	5	41.18	42.99	0.001687	0.94
FrS14 valle	7.5	41.18	43.34	0.001831	1.08
FrS15	3	41.12	42.4	0.002414	0.91
FrS15	4	41.12	42.62	0.002115	0.93
FrS15	5	41.12	42.8	0.001964	0.96
FrS15	7.5	41.12	43.15	0.001808	1.03
FrS16	3	40.17	41.75	0.000517	0.51
FrS16	4	40.17	41.88	0.000658	0.6
FrS16	5	40.17	42	0.000783	0.68
FrS16	7.5	40.17	42.27	0.000972	0.82
FrS17 monte	3	40.28	41.74	0.000838	0.62
FrS17 monte	4	40.28	41.88	0.000602	0.57
FrS17 monte	5	40.28	42	0.000423	0.51
FrS17 monte	7.5	40.28	42.28	0.000228	0.43



## Risultati analisi idrodinamica SIMULAZIONE 2

Descrizione Sezione	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Thalweg (m s.l.m.)	Profilo idrometrico (m s.l.m.)	Cad. idr. (m/m)	Velocità (m/s)
<b>Attraversamento Via S.Savino</b>					
FrS17 valle attraversamento	3	40.28	41.7	0.001046	0.67
FrS17 valle attraversamento	4	40.28	41.86	0.000692	0.61
FrS17 valle attraversamento	5	40.28	41.99	0.000449	0.53
FrS17 valle attraversamento	7.5	40.28	42.28	0.000232	0.44
FrS17 valle	3	40.28	41.69	0.001081	0.68
FrS17 valle	4	40.28	41.85	0.00071	0.61
FrS17 valle	5	40.28	41.99	0.000455	0.53
FrS17 valle	7.5	40.28	42.28	0.000233	0.44
FrS18	3	40.01	41.31	0.000828	0.61
FrS19	4	40.01	41.55	0.000758	0.64
FrS20	5	40.01	41.74	0.000738	0.67
FrS21	7.5	40.01	42.16	0.00034	0.55
FrS19 monte	3	39.94	41.28	0.000995	0.66
FrS19 monte	4	39.94	41.52	0.00092	0.69
FrS19 monte	5	39.94	41.72	0.00092	0.73
FrS19 monte	7.5	39.94	42.12	0.000878	0.78
<b>Attraversamento linea FFSS Cremona - Mantova</b>					
FrS19 valle	3	39.94	41.23	0.001166	0.7
FrS19 valle	4	39.94	41.44	0.001141	0.75
FrS19 valle	5	39.94	41.61	0.001162	0.8
FrS19 valle	7.5	39.94	41.95	0.001239	0.89
FrS20 monte	3	39.61	40.93	0.00095	0.65
FrS20 monte	4	39.61	41.14	0.000967	0.7
FrS20 monte	5	39.61	41.3	0.001033	0.76
FrS20 monte	7.5	39.61	41.64	0.001007	0.81
<b>Attraversamento Via Postumia</b>					
FrS20 valle	3	39.61	40.9	0.001025	0.67
FrS20 valle	4	39.61	41.1	0.001054	0.73
FrS20 valle	5	39.61	41.25	0.001146	0.79
FrS20 valle	7.5	39.61	41.41	0.001796	1.04
FrS21	3	39.51	40.88	0.000983	0.65
FrS21	4	39.51	41.08	0.000989	0.7
FrS21	5	39.51	41.23	0.001065	0.77
FrS21	7.5	39.51	41.39	0.001328	0.9
FrS22	3	38.63	40.15	0.000693	0.55



## Risultati analisi idrodinamica SIMULAZIONE 2

Descrizione Sezione	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Thalweg (m s.l.m.)	Profilo idrometrico (m s.l.m.)	Cad. idr. (m/m)	Velocità (m/s)
FrS22	4	38.63	40.34	0.000706	0.6
FrS22	5	38.63	40.49	0.000671	0.62
FrS22	7.5	38.63	40.69	0.000532	0.6
FrS23	3	37.59	38.9	0.001419	0.76
FrS23	4	37.59	39.16	0.001222	0.78
FrS23	5	37.59	39.42	0.001042	0.78
FrS23	7.5	37.59	39.85	0.000783	0.78
FrS24	3	37.58	38.85	0.001318	0.71
FrS24	4	37.58	39.12	0.001034	0.71
FrS24	5	37.58	39.38	0.00086	0.71
FrS24	7.5	37.58	39.82	0.000738	0.75
FrS24 traslata	3	37.58	38.84	0.001365	0.72
FrS24 traslata	4	37.58	39.11	0.001055	0.72
FrS24 traslata	5	37.58	39.37	0.000872	0.71
FrS24 traslata	7.5	37.58	39.82	0.00075	0.75
Scarico nel colo Paloschino					
PiS10 traslata	3	37.21	38.74	0.000984	0.66
PiS10 traslata	4	37.21	38.98	0.000946	0.7
PiS10 traslata	5	37.21	39.18	0.000916	0.73
PiS10 traslata	7.5	37.21	39.52	0.001005	0.84
PiS10	3	37.09	38.62	0.000987	0.66
PiS10	4	37.09	38.86	0.000933	0.7
PiS10	5	37.09	39.07	0.000896	0.72
PiS10	7.5	37.09	39.4	0.001012	0.84
PiS11	3	36.78	38.34	0.000778	0.61
PiS11	4	36.78	38.6	0.000745	0.64
PiS11	5	36.78	38.81	0.000724	0.67
PiS11	7.5	36.78	39.1	0.000851	0.8
BoS01	3	36.42	37.92	0.000895	0.64
BoS01	4	36.42	38.21	0.000769	0.65
BoS01	5	36.42	38.44	0.000721	0.67
BoS01	7.5	36.42	38.58	0.001223	0.9
BoS02 monte	3	36.32	37.89	0.000648	0.48
BoS02 monte	4	36.32	38.19	0.000487	0.44
BoS02 monte	5	36.32	38.43	0.000348	0.43



## Risultati analisi idrodinamica SIMULAZIONE 2

Descrizione Sezione	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Thalweg (m s.l.m.)	Profilo idrometrico (m s.l.m.)	Cad. idr. (m/m)	Velocità (m/s)
BoS02 monte	7.5	36.32	38.56	0.000521	0.56
Attraversamento Via Caretolo					
BoS02 valle	3	36.32	37.86	0.000704	0.5
BoS02 valle	4	36.32	38.14	0.000553	0.47
BoS02 valle	5	36.32	38.39	0.000392	0.44
BoS02 valle	7.5	36.32	38.51	0.000607	0.59
BoS03	3	36.08	37.56	0.000462	0.48
BoS03	4	36.08	37.93	0.000317	0.45
BoS03	5	36.08	38.3	0.000108	0.31
BoS03	7.5	36.08	38.35	0.000202	0.43
BoS04 monte	3	35.81	37.55	0.000217	0.33
BoS04 monte	4	35.81	37.92	0.000159	0.33
BoS04 monte	5	35.81	38.29	0.000128	0.32
BoS04 monte	7.5	35.81	38.34	0.000199	0.41
Imbocco botte sifone	3	32.61	37.56	0.000029	0.15
Imbocco botte sifone	4	32.61	37.93	0.000034	0.18
Imbocco botte sifone	5	32.61	38.3	0.000037	0.19
Imbocco botte sifone	7.5	32.61	38.34	0.000067	0.26
Attraversamento canale di Foce Morbasco					
Sbocco botte sifone	3	32.61	37.42	0.000035	0.16
Sbocco botte sifone	4	32.61	37.68	0.000045	0.19
Sbocco botte sifone	5	32.61	37.91	0.000054	0.22
Sbocco botte sifone	7.5	32.61	38.25	0.000086	0.29
BoS04 valle	3	35.81	37.41	0.000335	0.38
BoS04 valle	4	35.81	37.67	0.000283	0.39
BoS04 valle	5	35.81	37.9	0.000261	0.41
BoS04 valle	7.5	35.81	38.24	0.000312	0.5
BoS05	3	35.75	37.14	0.000876	0.63
BoS05	4	35.75	37.45	0.000704	0.62
BoS05	5	35.75	37.7	0.000625	0.63
BoS05	7.5	35.75	37.99	0.000777	0.76
BoS06 monte	3	35.47	37.12	0.00045	0.47
BoS06 monte	4	35.47	37.43	0.000388	0.46
BoS06 monte	5	35.47	37.69	0.000319	0.45
BoS06 monte	7.5	35.47	37.99	0.000279	0.49





## Risultati analisi idrodinamica SIMULAZIONE 2

Descrizione Sezione	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Thalweg (m s.l.m.)	Profilo idrometrico (m s.l.m.)	Cad. idr. (m/m)	Velocità (m/s)
Attraversamento Via Casalmaggiore					
BoS06 valle	3	35.47	37.01	0.000595	0.53
BoS06 valle	4	35.47	37.22	0.000637	0.57
BoS06 valle	5	35.47	37.4	0.000656	0.59
BoS06 valle	7.5	35.47	37.74	0.000605	0.64
BoS07	3	35.41	36.64	0.001223	0.71
BoS07	4	35.41	36.84	0.001218	0.76
BoS07	5	35.41	37.01	0.0012	0.8
BoS07	7.5	35.41	37.36	0.001187	0.89
BoS08 monte	3	34.32	35.22	0.005501	1.26
BoS08 monte	4	34.32	35.37	0.005846	1.39
BoS08 monte	5	34.32	35.49	0.006564	1.54
BoS08 monte	7.5	34.32	35.8	0.006924	1.75
Attraversamento Via Guglielmo Marconi					
BoS08 valle	3	34.32	35.02	0.012325	1.67
BoS08 valle	4	34.32	35.14	0.013328	1.87
BoS08 valle	5	34.32	35.24	0.013992	2.03
BoS08 valle	7.5	34.32	35.47	0.015466	2.36
BoS09	3	34.29	34.9	0.006818	1.23
BoS09	4	34.29	35.06	0.005186	1.23
BoS09	5	34.29	35.2	0.004454	1.24
BoS09	7.5	34.29	35.48	0.003727	1.32
BoS10	3	33.26	34.43	0.000895	0.62
BoS10	4	33.26	34.56	0.001073	0.72
BoS10	5	33.26	34.67	0.001253	0.81
BoS10	7.5	33.26	34.88	0.00168	1.01
ReS08	3	32.71	34.31	0.000344	0.44
ReS08	4	32.71	34.42	0.000402	0.5
ReS08	5	32.71	34.51	0.00044	0.55
ReS08	7.5	32.71	34.72	0.000407	0.58
FoS01	3	32.69	34.1	0.000266	0.37
FoS01	4	32.69	34.19	0.000278	0.39
FoS01	5	32.69	34.27	0.000281	0.41
FoS01	7.5	32.69	34.54	0.000198	0.4
FoS02 monte	3	32.1	34.09	0.000224	0.39
FoS02 monte	4	32.1	34.18	0.000201	0.38



## Risultati analisi idrodinamica SIMULAZIONE 2

Descrizione Sezione	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Thalweg (m s.l.m.)	Profilo idrometrico (m s.l.m.)	Cad. idr. (m/m)	Velocità (m/s)
FoS02 monte	5	32.1	34.26	0.000229	0.42
FoS02 monte	7.5	32.1	34.53	0.000148	0.38
Attraversamento carraia interpodereale località Cascina S. Giovanni					
FoS02 valle	3	32.1	34.03	0.000266	0.41
FoS02 valle	4	32.1	34.18	0.000206	0.39
FoS02 valle	5	32.1	34.26	0.000234	0.43
FoS02 valle	7.5	32.1	34.53	0.00015	0.38
FoS03	3	32.03	33.63	0.00058	0.5
FoS03	4	32.03	33.83	0.000578	0.53
FoS03	5	32.03	34.01	0.00024	0.38
FoS03	7.5	32.03	34.42	0.000072	0.26
FoS04 monte	3	31.98	33.63	0.00026	0.33
FoS04 monte	4	31.98	33.83	0.000235	0.36
FoS04 monte	5	31.98	34	0.000221	0.38
FoS04 monte	7.5	31.98	34.41	0.000194	0.41
Attraversamento Via Cantone Solata					
FoS04 valle	3	31.98	33.62	0.000266	0.34
FoS04 valle	4	31.98	33.82	0.000239	0.36
FoS04 valle	5	31.98	34	0.000225	0.38
FoS04 valle	7.5	31.98	34.4	0.000197	0.42
FoS05	3	31.58	32.95	0.000444	0.46
FoS05	4	31.58	33.19	0.000443	0.49
FoS05	5	31.58	33.4	0.00042	0.5
FoS05	7.5	31.58	33.92	0.000304	0.49
FoS06 monte	3	31.19	32.92	0.000453	0.48
FoS06 monte	4	31.19	33.15	0.000447	0.52
FoS06 monte	5	31.19	33.37	0.000432	0.54
FoS06 monte	7.5	31.19	33.9	0.000352	0.56
Attraversamento carraia interpodereale località Stagno Lombardo					
FoS06 valle	3	31.19	32.86	0.000526	0.51
FoS06 valle	4	31.19	33.08	0.000532	0.55
FoS06 valle	5	31.19	33.28	0.000529	0.58
FoS06 valle	7.5	31.19	33.74	0.000463	0.62
FoS07	3	30.94	32.71	0.000072	0.21
FoS07	4	30.94	32.96	0.000055	0.21
FoS07	5	30.94	33.17	0.000048	0.22



## Risultati analisi idrodinamica SIMULAZIONE 2

Descrizione Sezione	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Thalweg (m s.l.m.)	Profilo idrometrico (m s.l.m.)	Cad. idr. (m/m)	Velocità (m/s)
FoS07	7.5	30.94	33.66	0.000037	0.23
FoS08 monte	3	31.06	32.71	0.000174	0.33
FoS08 monte	4	31.06	32.95	0.000171	0.35
FoS08 monte	5	31.06	33.16	0.000175	0.38
FoS08 monte	7.5	31.06	33.65	0.000175	0.43
Attraversamento SP 50					
FoS08 valle	3	31.06	32.7	0.000175	0.33
FoS08 valle	4	31.06	32.95	0.000172	0.36
FoS08 valle	5	31.06	33.16	0.000176	0.38
FoS08 valle	7.5	31.06	33.65	0.000176	0.43
FoS09	3	30.74	32.25	0.000416	0.45
FoS09	4	30.74	32.52	0.000392	0.44
FoS09	5	30.74	32.76	0.000308	0.44
FoS09	7.5	30.74	33.32	0.000205	0.43
FoS10	3	30.97	32.23	0.0002	0.34
FoS10	4	30.97	32.5	0.0002	0.37
FoS10	5	30.97	32.74	0.0002	0.4
FoS10	7.5	30.97	33.31	0.0002	0.45



### 5.6.3 SCENARIO 3

Infine si riportano i risultati della terza simulazione in termini di profilo di rigurgito e tabella riepilogativa dei principali parametri idraulici calcolati.

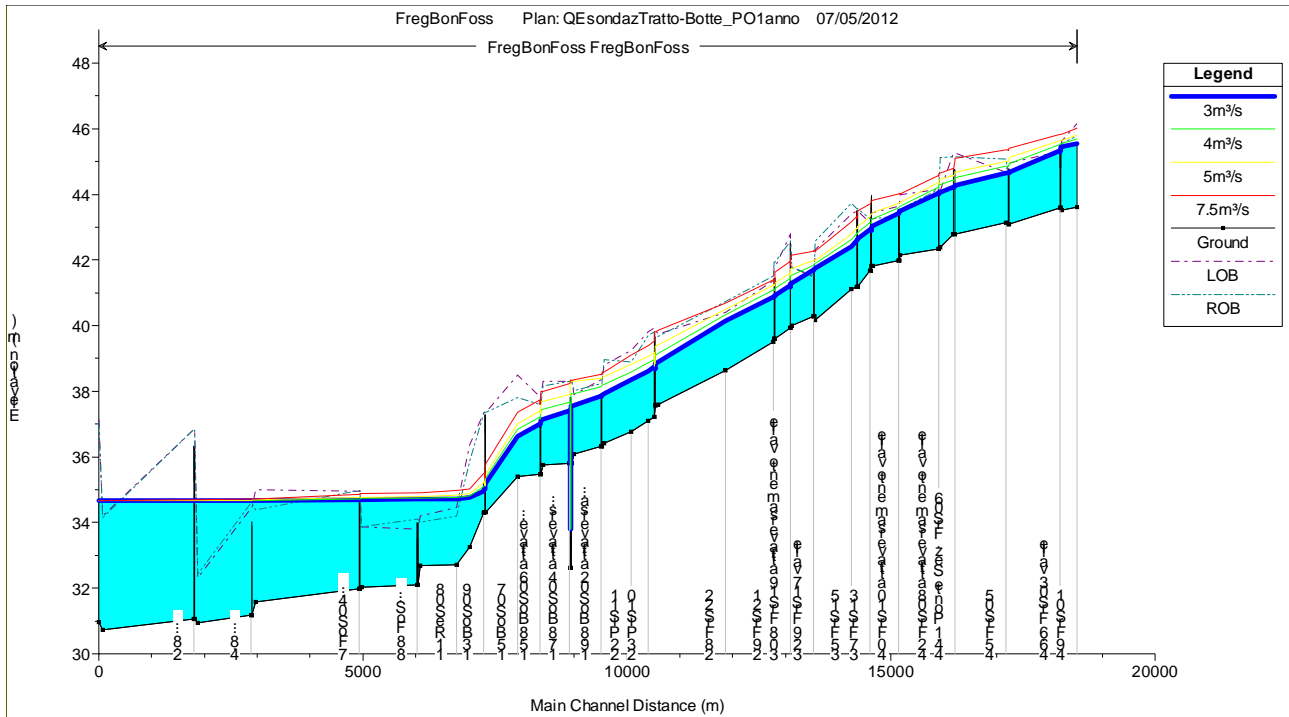


FIGURA 5-26 PROFILO DI RIGURGITO SIM. 3



RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO PER I TERRITORI DELLA PROVINCIA DI CREMONA AFFERENTI AL RETICOLO IDRICO PRINCIPALE FREGALINO – FOSSADONE E CHE COINVOLGE PARTE DEI COMUNI DEL TERRITORIO CREMONESE ORIENTALE

PROVINCIA DI CREMONA  
Ufficio Protezione Civile

Relazione idrologica e idraulica

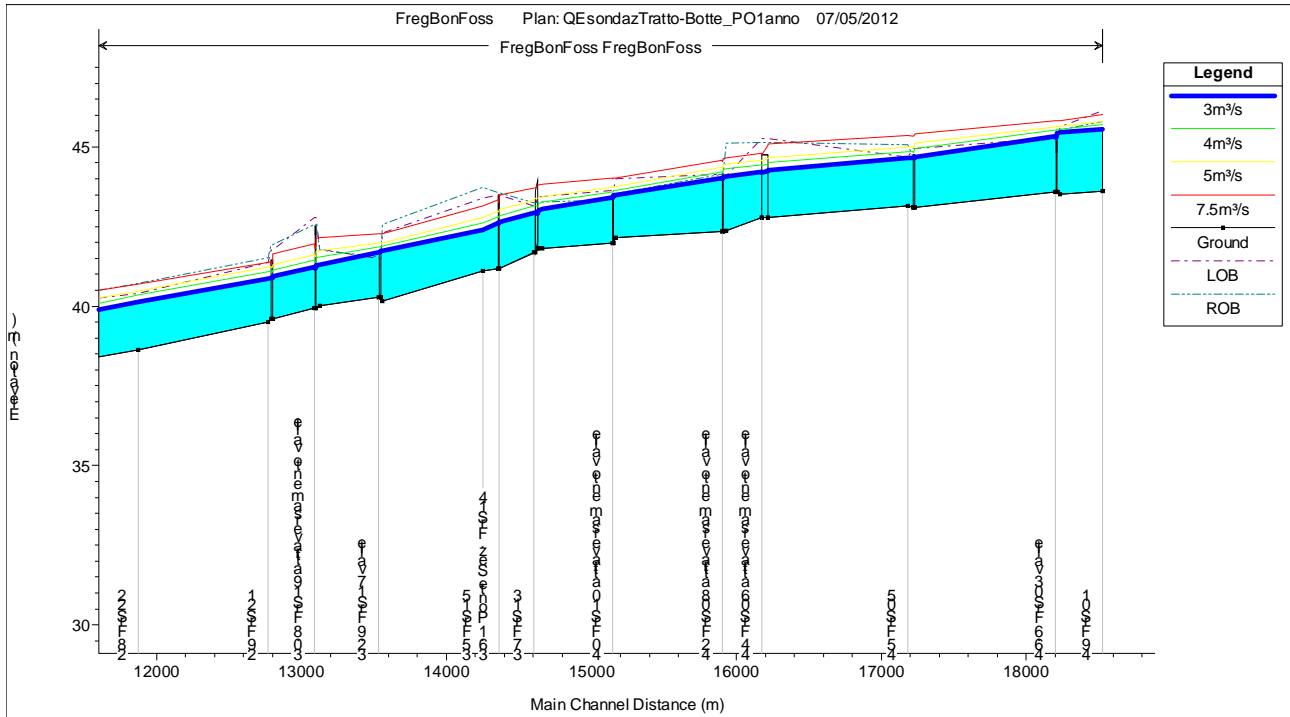


FIGURA 5-27 PROFILO DI RIGURGITO SIM. 3 TRATTO DALLA SEZIONE FRS01 ALLA FRS22

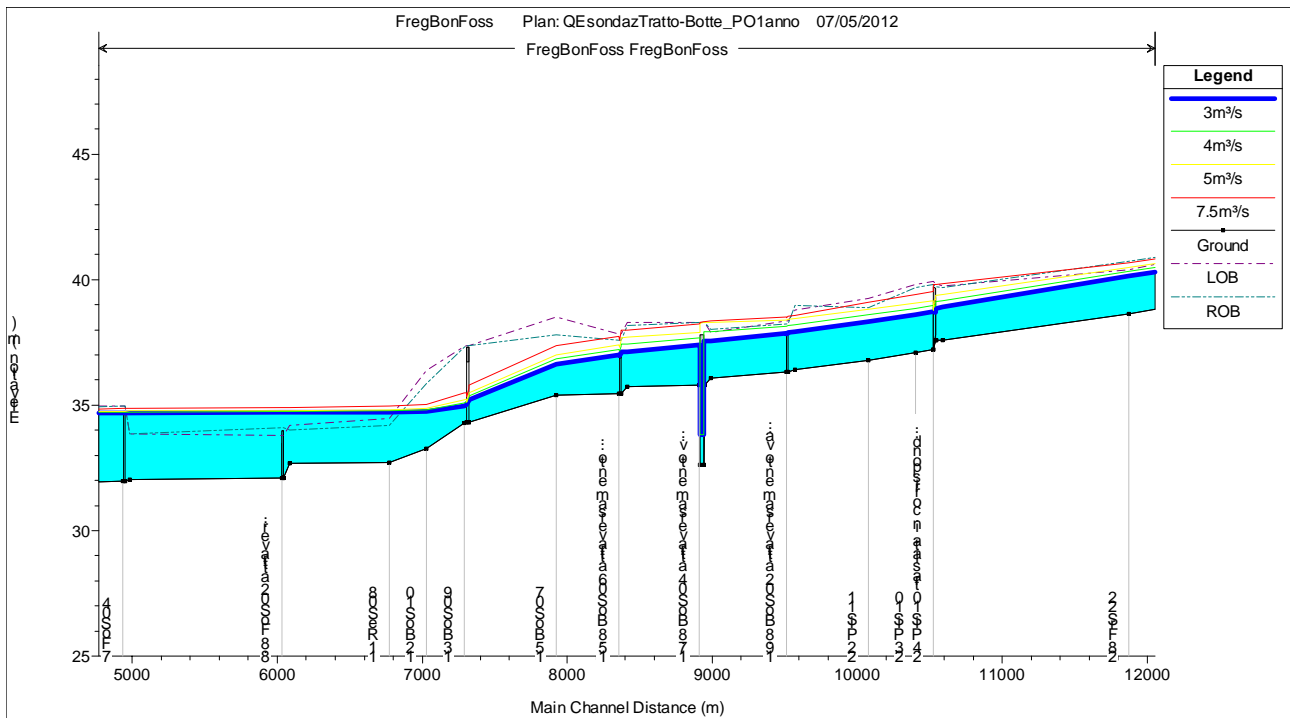


FIGURA 5-28 PROFILO DI RIGURGITO SIM. 3 TRATTO DALLA SEZIONE FRS22 ALLA FOS04



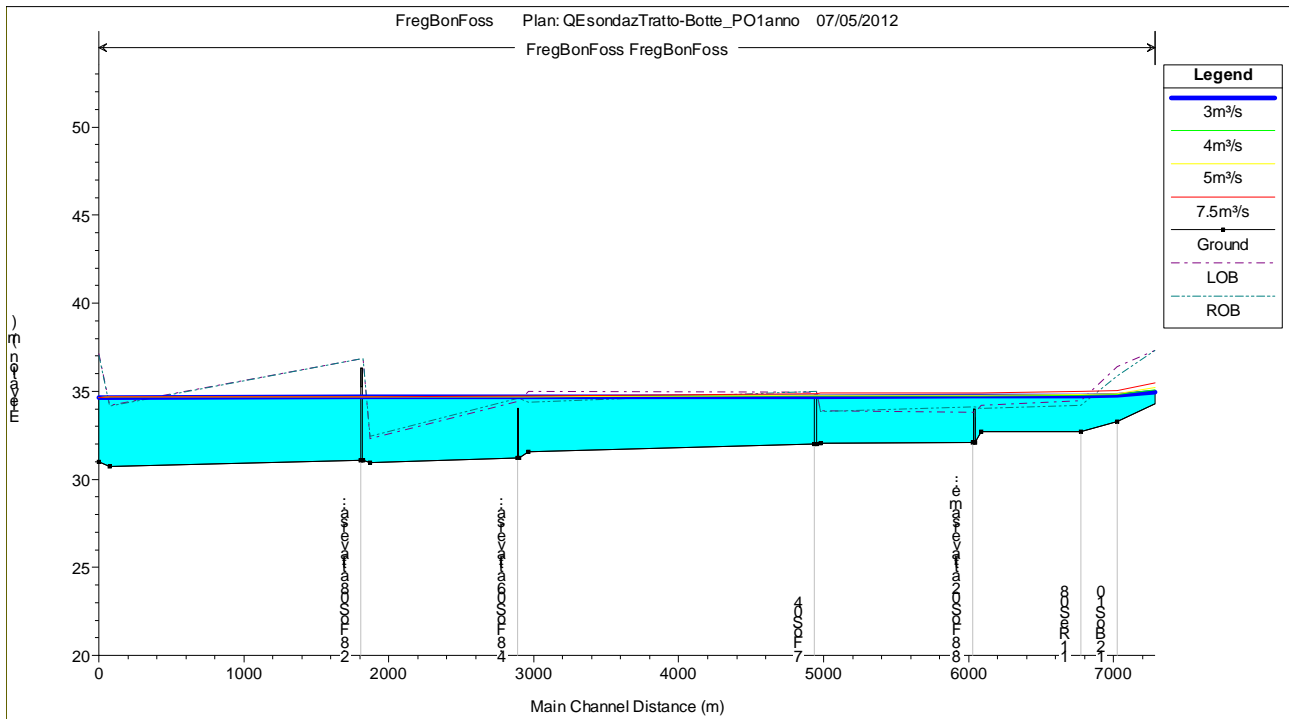


FIGURA 5-29 PROFILO DI RIGURGITO SIM. 3 TRATTO DALLA SEZIONE FoS04 ALLA FoS10

La tabella seguente mostra le variazioni tra il profilo idrico della corrente nella simulazione 2 e 3. È possibile notare infatti che il rigurgito del fiume Po interessato da un evento di piena con TR pari ad 1 anno si risente fino all'attraversamento sito in corrispondenza della via Guglielmo Marconi.



### Risultati analisi idrodinamica SIMULAZIONE 3

Descrizione Sezione	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Thalweg (m s.l.m.)	Profilo idrometrico (m s.l.m.)	Cad. idr. (m/m)	Velocità (m/s)	Prof.Idr. 2-3
FrS01	3	43.62	45.55	0.000458	0.4	0.0
FrS01	4	43.62	45.69	0.000548	0.44	0.0
FrS01	5	43.62	45.81	0.000592	0.48	0.0
FrS01	7.5	43.62	46.01	0.000568	0.54	0.0
FrS02	3	43.51	45.45	0.000272	0.4	0.0
FrS02	4	43.51	45.56	0.00038	0.49	0.0
FrS02	5	43.51	45.65	0.000461	0.57	0.0
FrS02	7.5	43.51	45.82	0.000629	0.72	0.0
FrS03 monte	3	43.58	45.45	0.000275	0.42	0.0
FrS03 monte	4	43.58	45.56	0.00025	0.43	0.0
FrS03 monte	5	43.58	45.65	0.00023	0.43	0.0
FrS03 monte	7.5	43.58	45.83	0.000216	0.45	0.0
FrS03 monte attraversamento	3	43.58	45.44	0.000536	0.56	0.0
FrS03 monte attraversamento	4	43.58	45.55	0.00043	0.53	0.0
FrS03 monte attraversamento	5	43.58	45.65	0.000357	0.5	0.0
FrS03 monte attraversamento	7.5	43.58	45.83	0.000298	0.49	0.0
Attraversamento Via Porcellasco						
FrS03 valle attraversamento	3	43.58	45.33	0.000725	0.62	0.0
FrS03 valle attraversamento	4	43.58	45.52	0.00053	0.58	0.0
FrS03 valle attraversamento	5	43.58	45.64	0.000389	0.52	0.0
FrS03 valle attraversamento	7.5	43.58	45.82	0.000309	0.5	0.0
FrS03 valle	3	43.58	45.34	0.000386	0.47	0.0
FrS03 valle	4	43.58	45.52	0.000305	0.46	0.0
FrS03 valle	5	43.58	45.64	0.000252	0.44	0.0
FrS03 valle	7.5	43.58	45.82	0.000226	0.46	0.0
FrS04 monte	3	43.1	44.67	0.001414	0.77	0.0
FrS04 monte	4	43.1	44.94	0.001412	0.84	0.0
FrS04 monte	5	43.1	45.13	0.001353	0.88	0.0



### Risultati analisi idrodinamica SIMULAZIONE 3

Descrizione Sezione	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Thalweg (m s.l.m.)	Profilo idrometrico (m s.l.m.)	Cad. idr. (m/m)	Velocità (m/s)	Prof.Idr. 2-3
FrS04 monte	7.5	43.1	45.41	0.000934	0.8	0.0
Attraversamento Via Persico						
FrS04 valle	3	43.1	44.66	0.001457	0.78	0.0
FrS04 valle	4	43.1	44.85	0.001719	0.9	0.0
FrS04 valle	5	43.1	45	0.001892	0.99	0.0
FrS04 valle	7.5	43.1	45.35	0.00119	0.89	0.0
FrS05	3	43.14	44.65	0.000382	0.45	0.0
FrS05	4	43.14	44.85	0.000322	0.45	0.0
FrS05	5	43.14	45.01	0.000285	0.45	0.0
FrS05	7.5	43.14	45.35	0.000174	0.41	0.0
FrS06 monte	3	42.78	44.27	0.000402	0.45	0.0
FrS06 monte	4	42.78	44.5	0.000403	0.48	0.0
FrS06 monte	5	42.78	44.67	0.000431	0.52	0.0
FrS06 monte	7.5	42.78	45.1	0.000389	0.54	0.0
Attraversamento A21						
FrS06 valle	3	42.78	44.22	0.000454	0.48	0.0
FrS06 valle	4	42.78	44.44	0.000474	0.51	0.0
FrS06 valle	5	42.78	44.58	0.000525	0.56	0.0
FrS06 valle	7.5	42.78	44.8	0.000729	0.69	0.0
FrS07	3	42.38	44.06	0.000807	0.6	0.0
FrS07	4	42.38	44.31	0.000561	0.56	0.0
FrS07	5	42.38	44.46	0.000462	0.54	0.0
FrS07	7.5	42.38	44.65	0.000521	0.62	0.0
FrS08 monte	3	42.34	44.05	0.000596	0.55	0.0
FrS08 monte	4	42.34	44.29	0.000557	0.59	0.0
FrS08 monte	5	42.34	44.45	0.000515	0.62	0.0
FrS08 monte	7.5	42.34	44.63	0.000604	0.72	0.0
Attraversamento carraia interpodereale località Acqualunga						
FrS08 valle	3	42.34	44.03	0.000625	0.56	0.0
FrS08 valle	4	42.34	44.23	0.000671	0.63	0.0
FrS08 valle	5	42.34	44.37	0.000679	0.68	0.0
FrS08 valle	7.5	42.34	44.57	0.000745	0.78	0.0
FrS09	3	42.16	43.48	0.000908	0.62	0.0
FrS09	4	42.16	43.63	0.000998	0.7	0.0
FrS09	5	42.16	43.75	0.001057	0.76	0.0
FrS09	7.5	42.16	44.02	0.000768	0.73	0.0



### Risultati analisi idrodinamica SIMULAZIONE 3

Descrizione Sezione	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Thalweg (m s.l.m.)	Profilo idrometrico (m s.l.m.)	Cad. idr. (m/m)	Velocità (m/s)	Prof.Idr. 2-3
FrS10 monte	3	41.98	43.48	0.000351	0.43	0.0
FrS10 monte	4	41.98	43.63	0.00032	0.44	0.0
FrS10 monte	5	41.98	43.76	0.000294	0.45	0.0
FrS10 monte	7.5	41.98	44.03	0.000223	0.45	0.0
Attraversamento carraia interpodereale località Cascina Strozso						
FrS10 valle	3	41.98	43.43	0.000443	0.46	0.0
FrS10 valle	4	41.98	43.6	0.000377	0.47	0.0
FrS10 valle	5	41.98	43.73	0.000326	0.47	0.0
FrS10 valle	7.5	41.98	44.01	0.000232	0.46	0.0
FrS11	3	41.82	43.05	0.001478	0.75	0.0
FrS11	4	41.82	43.27	0.001297	0.77	0.0
FrS11	5	41.82	43.44	0.001138	0.79	0.0
FrS11	7.5	41.82	43.82	0.000642	0.73	0.0
FrS11 traslata	3	41.82	43	0.001767	0.8	0.0
FrS11 traslata	4	41.82	43.22	0.001478	0.81	0.0
FrS11 traslata	5	41.82	43.4	0.001293	0.82	0.0
FrS11 traslata	7.5	41.82	43.8	0.000685	0.75	0.0
Attraversamento SS10						
FrS13	3	41.68	42.94	0.001024	0.65	0.0
FrS13	4	41.68	43.15	0.000953	0.68	0.0
FrS13	5	41.68	43.31	0.000827	0.69	0.0
FrS13	7.5	41.68	43.71	0.00049	0.66	0.0
FrS14 monte	3	41.18	42.63	0.001471	0.79	0.0
FrS14 monte	4	41.18	42.84	0.001505	0.85	0.0
FrS14 monte	5	41.18	43.03	0.001542	0.91	0.0
FrS14 monte	7.5	41.18	43.5	0.001372	0.97	0.0
Attraversamento carraia interpodereale località Cà dell'Aia						
FrS14 valle	3	41.18	42.61	0.00158	0.81	0.0
FrS14 valle	4	41.18	42.81	0.001631	0.88	0.0
FrS14 valle	5	41.18	42.99	0.001687	0.94	0.0
FrS14 valle	7.5	41.18	43.34	0.001831	1.08	0.0
FrS15	3	41.12	42.4	0.002414	0.91	0.0
FrS15	4	41.12	42.62	0.002115	0.93	0.0
FrS15	5	41.12	42.8	0.001964	0.96	0.0
FrS15	7.5	41.12	43.15	0.001808	1.03	0.0
FrS16	3	40.17	41.75	0.000517	0.51	0.0



### Risultati analisi idrodinamica SIMULAZIONE 3

Descrizione Sezione	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Thalweg (m s.l.m.)	Profilo idrometrico (m s.l.m.)	Cad. idr. (m/m)	Velocità (m/s)	Prof.Idr. 2-3
FrS16	4	40.17	41.88	0.000658	0.6	0.0
FrS16	5	40.17	42	0.000783	0.68	0.0
FrS16	7.5	40.17	42.27	0.000972	0.82	0.0
FrS17 monte	3	40.28	41.74	0.000838	0.62	0.0
FrS17 monte	4	40.28	41.88	0.000602	0.57	0.0
FrS17 monte	5	40.28	42	0.000423	0.51	0.0
FrS17 monte	7.5	40.28	42.28	0.000228	0.43	0.0
Attraversamento Via S.Savino						
FrS17 valle attraversamento	3	40.28	41.7	0.001046	0.67	0.0
FrS17 valle attraversamento	4	40.28	41.86	0.000692	0.61	0.0
FrS17 valle attraversamento	5	40.28	41.99	0.000449	0.53	0.0
FrS17 valle attraversamento	7.5	40.28	42.28	0.000232	0.44	0.0
FrS17 valle	3	40.28	41.69	0.001081	0.68	0.0
FrS17 valle	4	40.28	41.85	0.00071	0.61	0.0
FrS17 valle	5	40.28	41.99	0.000455	0.53	0.0
FrS17 valle	7.5	40.28	42.28	0.000233	0.44	0.0
FrS18	3	40.01	41.31	0.000828	0.61	0.0
FrS19	4	40.01	41.55	0.000758	0.64	0.0
FrS20	5	40.01	41.74	0.000738	0.67	0.0
FrS21	7.5	40.01	42.16	0.00034	0.55	0.0
FrS19 monte	3	39.94	41.28	0.000995	0.66	0.0
FrS19 monte	4	39.94	41.52	0.00092	0.69	0.0
FrS19 monte	5	39.94	41.72	0.00092	0.73	0.0
FrS19 monte	7.5	39.94	42.12	0.000878	0.78	0.0
Attraversamento linea FFSS Cremona - Mantova						
FrS19 valle	3	39.94	41.23	0.001166	0.7	0.0
FrS19 valle	4	39.94	41.44	0.001141	0.75	0.0
FrS19 valle	5	39.94	41.61	0.001162	0.8	0.0
FrS19 valle	7.5	39.94	41.95	0.001239	0.89	0.0
FrS20 monte	3	39.61	40.93	0.00095	0.65	0.0
FrS20 monte	4	39.61	41.14	0.000967	0.7	0.0
FrS20 monte	5	39.61	41.3	0.001033	0.76	0.0
FrS20 monte	7.5	39.61	41.64	0.001007	0.81	0.0





### Risultati analisi idrodinamica SIMULAZIONE 3

Descrizione Sezione	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Thalweg (m s.l.m.)	Profilo idrometrico (m s.l.m.)	Cad. idr. (m/m)	Velocità (m/s)	Prof.Idr. 2-3
Attraversamento Via Postumia						
FrS20 valle	3	39.61	40.9	0.001025	0.67	0.0
FrS20 valle	4	39.61	41.1	0.001054	0.73	0.0
FrS20 valle	5	39.61	41.25	0.001146	0.79	0.0
FrS20 valle	7.5	39.61	41.41	0.001796	1.04	0.0
FrS21	3	39.51	40.88	0.000983	0.65	0.0
FrS21	4	39.51	41.08	0.000989	0.7	0.0
FrS21	5	39.51	41.23	0.001065	0.77	0.0
FrS21	7.5	39.51	41.39	0.001328	0.9	0.0
FrS22	3	38.63	40.15	0.000693	0.55	0.0
FrS22	4	38.63	40.34	0.000706	0.6	0.0
FrS22	5	38.63	40.49	0.000671	0.62	0.0
FrS22	7.5	38.63	40.69	0.000532	0.6	0.0
FrS23	3	37.59	38.9	0.001419	0.76	0.0
FrS23	4	37.59	39.16	0.001222	0.78	0.0
FrS23	5	37.59	39.42	0.001042	0.78	0.0
FrS23	7.5	37.59	39.85	0.000783	0.78	0.0
FrS24	3	37.58	38.85	0.001318	0.71	0.0
FrS24	4	37.58	39.12	0.001034	0.71	0.0
FrS24	5	37.58	39.38	0.00086	0.71	0.0
FrS24	7.5	37.58	39.82	0.000738	0.75	0.0
FrS24 traslata	3	37.58	38.84	0.001365	0.72	0.0
FrS24 traslata	4	37.58	39.11	0.001055	0.72	0.0
FrS24 traslata	5	37.58	39.37	0.000872	0.71	0.0
FrS24 traslata	7.5	37.58	39.82	0.00075	0.75	0.0
Scarico nel colo Paloschino						
PiS10 traslata	3	37.21	38.74	0.000984	0.66	0.0
PiS10 traslata	4	37.21	38.98	0.000946	0.7	0.0
PiS10 traslata	5	37.21	39.18	0.000916	0.73	0.0
PiS10 traslata	7.5	37.21	39.52	0.001005	0.84	0.0
PiS10	3	37.09	38.62	0.000987	0.66	0.0
PiS10	4	37.09	38.86	0.000933	0.7	0.0
PiS10	5	37.09	39.07	0.000896	0.72	0.0
PiS10	7.5	37.09	39.4	0.001012	0.84	0.0
PiS11	3	36.78	38.34	0.000778	0.61	0.0
PiS11	4	36.78	38.6	0.000745	0.64	0.0



### Risultati analisi idrodinamica SIMULAZIONE 3

Descrizione Sezione	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Thalweg (m s.l.m.)	Profilo idrometrico (m s.l.m.)	Cad. idr. (m/m)	Velocità (m/s)	Prof.Idr. 2-3
PiS11	5	36.78	38.81	0.000724	0.67	0.0
PiS11	7.5	36.78	39.1	0.000851	0.8	0.0
BoS01	3	36.42	37.92	0.000895	0.64	0.0
BoS01	4	36.42	38.21	0.000769	0.65	0.0
BoS01	5	36.42	38.44	0.000721	0.67	0.0
BoS01	7.5	36.42	38.58	0.001223	0.9	0.0
BoS02 monte	3	36.32	37.89	0.000648	0.48	0.0
BoS02 monte	4	36.32	38.19	0.000487	0.44	0.0
BoS02 monte	5	36.32	38.43	0.000348	0.43	0.0
BoS02 monte	7.5	36.32	38.56	0.000521	0.56	0.0
Attraversamento Via Caretolo						
BoS02 valle	3	36.32	37.86	0.000704	0.5	0.0
BoS02 valle	4	36.32	38.14	0.000553	0.47	0.0
BoS02 valle	5	36.32	38.39	0.000392	0.44	0.0
BoS02 valle	7.5	36.32	38.51	0.000607	0.59	0.0
BoS03	3	36.08	37.56	0.000462	0.48	0.0
BoS03	4	36.08	37.93	0.000317	0.45	0.0
BoS03	5	36.08	38.3	0.000108	0.31	0.0
BoS03	7.5	36.08	38.35	0.000202	0.43	0.0
BoS04 monte	3	35.81	37.55	0.000217	0.33	0.0
BoS04 monte	4	35.81	37.92	0.000159	0.33	0.0
BoS04 monte	5	35.81	38.29	0.000128	0.32	0.0
BoS04 monte	7.5	35.81	38.34	0.000199	0.41	0.0
Imbocco botte sifone	3	32.61	37.56	0.000029	0.15	0.0
Imbocco botte sifone	4	32.61	37.93	0.000034	0.18	0.0
Imbocco botte sifone	5	32.61	38.3	0.000037	0.19	0.0
Imbocco botte sifone	7.5	32.61	38.34	0.000067	0.26	0.0
Attraversamento canale di Foce Morbasco						
Sbocco botte sifone	3	32.61	37.42	0.000035	0.16	0.0
Sbocco botte sifone	4	32.61	37.68	0.000045	0.19	0.0
Sbocco botte sifone	5	32.61	37.91	0.000054	0.22	0.0
Sbocco botte sifone	7.5	32.61	38.25	0.000086	0.29	0.0
BoS04 valle	3	35.81	37.41	0.000335	0.38	0.0
BoS04 valle	4	35.81	37.67	0.000283	0.39	0.0
BoS04 valle	5	35.81	37.9	0.000261	0.41	0.0
BoS04 valle	7.5	35.81	38.24	0.000312	0.5	0.0



### Risultati analisi idrodinamica SIMULAZIONE 3

Descrizione Sezione	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Thalweg (m s.l.m.)	Profilo idrometrico (m s.l.m.)	Cad. idr. (m/m)	Velocità (m/s)	Prof.Idr. 2-3
BoS05	3	35.75	37.14	0.000877	0.63	0.0
BoS05	4	35.75	37.45	0.000704	0.62	0.0
BoS05	5	35.75	37.7	0.000625	0.63	0.0
BoS05	7.5	35.75	37.99	0.000777	0.76	0.0
BoS06 monte	3	35.47	37.12	0.00045	0.47	0.0
BoS06 monte	4	35.47	37.43	0.000389	0.46	0.0
BoS06 monte	5	35.47	37.69	0.000319	0.45	0.0
BoS06 monte	7.5	35.47	37.99	0.000279	0.49	0.0
Attraversamento Via Casalmaggiore						
BoS06 valle	3	35.47	37.01	0.000595	0.53	0.0
BoS06 valle	4	35.47	37.22	0.000637	0.57	0.0
BoS06 valle	5	35.47	37.4	0.000656	0.59	0.0
BoS06 valle	7.5	35.47	37.74	0.000605	0.64	0.0
BoS07	3	35.41	36.64	0.001227	0.71	0.0
BoS07	4	35.41	36.84	0.001219	0.76	0.0
BoS07	5	35.41	37.01	0.0012	0.8	0.0
BoS07	7.5	35.41	37.36	0.001187	0.89	0.0
BoS08 monte	3	34.32	35.22	0.005431	1.25	0.0
BoS08 monte	4	34.32	35.38	0.005808	1.39	0.0
BoS08 monte	5	34.32	35.49	0.006564	1.54	0.0
BoS08 monte	7.5	34.32	35.8	0.006924	1.75	0.0
Attraversamento Via Guglielmo Marconi						
BoS08 valle	3	34.32	35.04	0.011323	1.62	0.0
BoS08 valle	4	34.32	35.15	0.0124	1.82	0.0
BoS08 valle	5	34.32	35.26	0.013215	1.99	0.0
BoS08 valle	7.5	34.32	35.49	0.014863	2.32	0.0
BoS09	3	34.29	34.95	0.004946	1.1	0.1
BoS09	4	34.29	35.1	0.004405	1.16	0.0
BoS09	5	34.29	35.22	0.004029	1.2	0.0
BoS09	7.5	34.29	35.5	0.00354	1.29	0.0
BoS10	3	33.26	34.75	0.000363	0.45	0.3
BoS10	4	33.26	34.81	0.000559	0.57	0.3
BoS10	5	33.26	34.87	0.000754	0.67	0.2
BoS10	7.5	33.26	35.03	0.001186	0.89	0.1
ReS08	3	32.71	34.73	0.000063	0.23	0.4
ReS08	4	32.71	34.77	0.000093	0.29	0.4



### Risultati analisi idrodinamica SIMULAZIONE 3

Descrizione Sezione	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Thalweg (m s.l.m.)	Profilo idrometrico (m s.l.m.)	Cad. idr. (m/m)	Velocità (m/s)	Prof.Idr. 2-3
ReS08	5	32.71	34.83	0.000118	0.33	0.3
ReS08	7.5	32.71	34.97	0.000154	0.4	0.3
FoS01	3	32.69	34.71	0.000017	0.13	0.6
FoS01	4	32.69	34.74	0.000028	0.16	0.6
FoS01	5	32.69	34.79	0.000038	0.19	0.5
FoS01	7.5	32.69	34.91	0.000059	0.25	0.4
FoS02 monte	3	32.1	34.71	0.000012	0.12	0.6
FoS02 monte	4	32.1	34.74	0.000019	0.15	0.6
FoS02 monte	5	32.1	34.78	0.000026	0.18	0.5
FoS02 monte	7.5	32.1	34.91	0.00004	0.23	0.4
Attraversamento carraia interpodereale località Cascina S. Giovanni						
FoS02 valle	3	32.1	34.71	0.000012	0.12	0.7
FoS02 valle	4	32.1	34.74	0.000019	0.15	0.6
FoS02 valle	5	32.1	34.78	0.000026	0.18	0.5
FoS02 valle	7.5	32.1	34.91	0.000041	0.23	0.4
FoS03	3	32.03	34.7	0.000005	0.07	1.1
FoS03	4	32.03	34.73	0.000007	0.09	0.9
FoS03	5	32.03	34.77	0.000011	0.11	0.8
FoS03	7.5	32.03	34.88	0.000017	0.15	0.5
FoS04 monte	3	31.98	34.7	0.000018	0.14	1.1
FoS04 monte	4	31.98	34.73	0.000031	0.18	0.9
FoS04 monte	5	31.98	34.76	0.000046	0.22	0.8
FoS04 monte	7.5	31.98	34.88	0.000087	0.31	0.5
Attraversamento Via Cantone Solata						
FoS04 valle	3	31.98	34.7	0.000018	0.14	1.1
FoS04 valle	4	31.98	34.73	0.000031	0.18	0.9
FoS04 valle	5	31.98	34.76	0.000046	0.22	0.8
FoS04 valle	7.5	31.98	34.87	0.000088	0.31	0.5
FoS05	3	31.58	34.67	0.000012	0.12	1.7
FoS05	4	31.58	34.68	0.000021	0.16	1.5
FoS05	5	31.58	34.69	0.000032	0.2	1.3
FoS05	7.5	31.58	34.72	0.000068	0.29	0.8
FoS06 monte	3	31.19	34.67	0.000018	0.11	1.8
FoS06 monte	4	31.19	34.68	0.000031	0.15	1.5
FoS06 monte	5	31.19	34.68	0.000047	0.18	1.3
FoS06 monte	7.5	31.19	34.71	0.000094	0.26	0.8



### Risultati analisi idrodinamica SIMULAZIONE 3

Descrizione Sezione	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Thalweg (m s.l.m.)	Profilo idrometrico (m s.l.m.)	Cad. idr. (m/m)	Velocità (m/s)	Prof.Idr. 2-3
Attraversamento carraia interpodereale località Stagno Lombardo						
FoS06 valle	3	31.19	34.67	0.000018	0.11	1.8
FoS06 valle	4	31.19	34.67	0.000031	0.15	1.6
FoS06 valle	5	31.19	34.68	0.000047	0.18	1.4
FoS06 valle	7.5	31.19	34.71	0.000095	0.26	1.0
FoS07	3	30.94	34.66	0.000001	0.06	2.0
FoS07	4	30.94	34.67	0.000003	0.08	1.7
FoS07	5	30.94	34.67	0.000004	0.1	1.5
FoS07	7.5	30.94	34.69	0.000009	0.15	1.0
FoS08 monte	3	31.06	34.66	0.000009	0.11	2.0
FoS08 monte	4	31.06	34.67	0.000015	0.15	1.7
FoS08 monte	5	31.06	34.67	0.000024	0.19	1.5
FoS08 monte	7.5	31.06	34.68	0.000053	0.28	1.0
Attraversamento SP 50						
FoS08 valle	3	31.06	34.66	0.000009	0.11	2.0
FoS08 valle	4	31.06	34.67	0.000015	0.15	1.7
FoS08 valle	5	31.06	34.67	0.000024	0.19	1.5
FoS08 valle	7.5	31.06	34.68	0.000053	0.28	1.0
FoS09	3	30.74	34.66	0.000001	0.04	2.4
FoS09	4	30.74	34.66	0.000002	0.05	2.1
FoS09	5	30.74	34.66	0.000002	0.06	1.9
FoS09	7.5	30.74	34.67	0.000005	0.1	1.4
FoS10	3	30.97	34.66	0.000009	0.11	2.4
FoS10	4	30.97	34.66	0.000015	0.15	2.2
FoS10	5	30.97	34.66	0.000024	0.19	1.9
FoS10	7.5	30.97	34.66	0.000054	0.28	1.3





## 6 INDIVIDUAZIONE DEI RISCHI E GERARCHIZZAZIONE DELLE CRITICITÀ

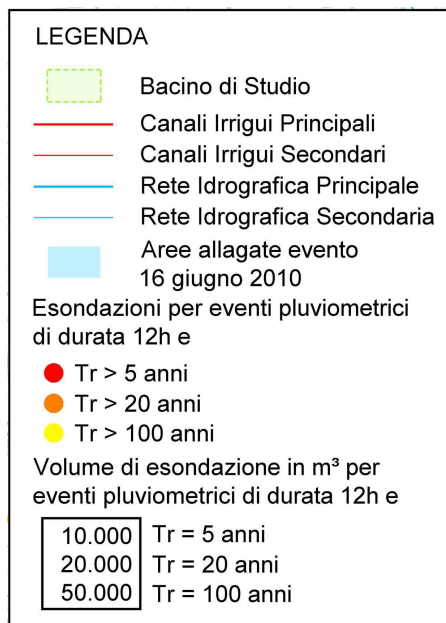
Il processo modellistico implementato e tarato, secondo quanto descritto nei capitoli dedicati, ha permesso l'individuazione dei nodi e dei tratti maggiormente sollecitati da eventi di pioggia intensi, nei quali è stata stimata la Portata Massima Sostenibile (QMS) e il volume esondato per ciascun evento pluviometrico di riferimento.

I nodi critici, così individuati, sono stati quindi gerarchizzati in funzione della vulnerabilità idraulica del territorio ovvero della risposta del sistema alle sollecitazioni pluviometriche di diverso tempo di ritorno.

Sono state individuate e gerarchizzate:

- 1) con il bollo rosso i nodi critici che presentano vulnerabilità idraulica molto elevata ovvero esondazioni per eventi di pioggia aventi durata 12 h e tempo di ritorno pari o maggiore di 5 anni;
- 2) con il bollo arancione i nodi critici che presentano vulnerabilità idraulica elevata ovvero esondazioni per eventi di pioggia aventi durata 12 h e tempo di ritorno pari o maggiore di 20 anni;
- 3) con il bollo giallo i nodi critici che presentano vulnerabilità idraulica media ovvero esondazioni per eventi di pioggia aventi durata 12 h e tempo di ritorno pari o maggiore di 100 anni;

Di seguito si riporta in due parti (nord e sud) la planimetria della gerarchizzazione delle criticità idrauliche all'interno del bacino in studio corredata dal riepilogo dei volumi di esondazione in ciascun nodo e in funzione del tempo di ritorno. Le medesime informazioni, sono riportate su una scala più idonea all'interno dell'elaborato grafico TAV. n. 4 "Planimetria criticità idrauliche" allegato alla presente relazione.





RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO PER I TERRITORI DELLA PROVINCIA DI CREMONA AFFERENTI AL RETICOLO IDRICO PRINCIPALE FREGALINO - FOSSADONE E CHE COINVOLGE PARTE DEI COMUNI DEL TERRITORIO CREMONESE ORIENTALE

PROVINCIA DI CREMONA  
Ufficio Protezione Civile

Relazione idrologica e idraulica

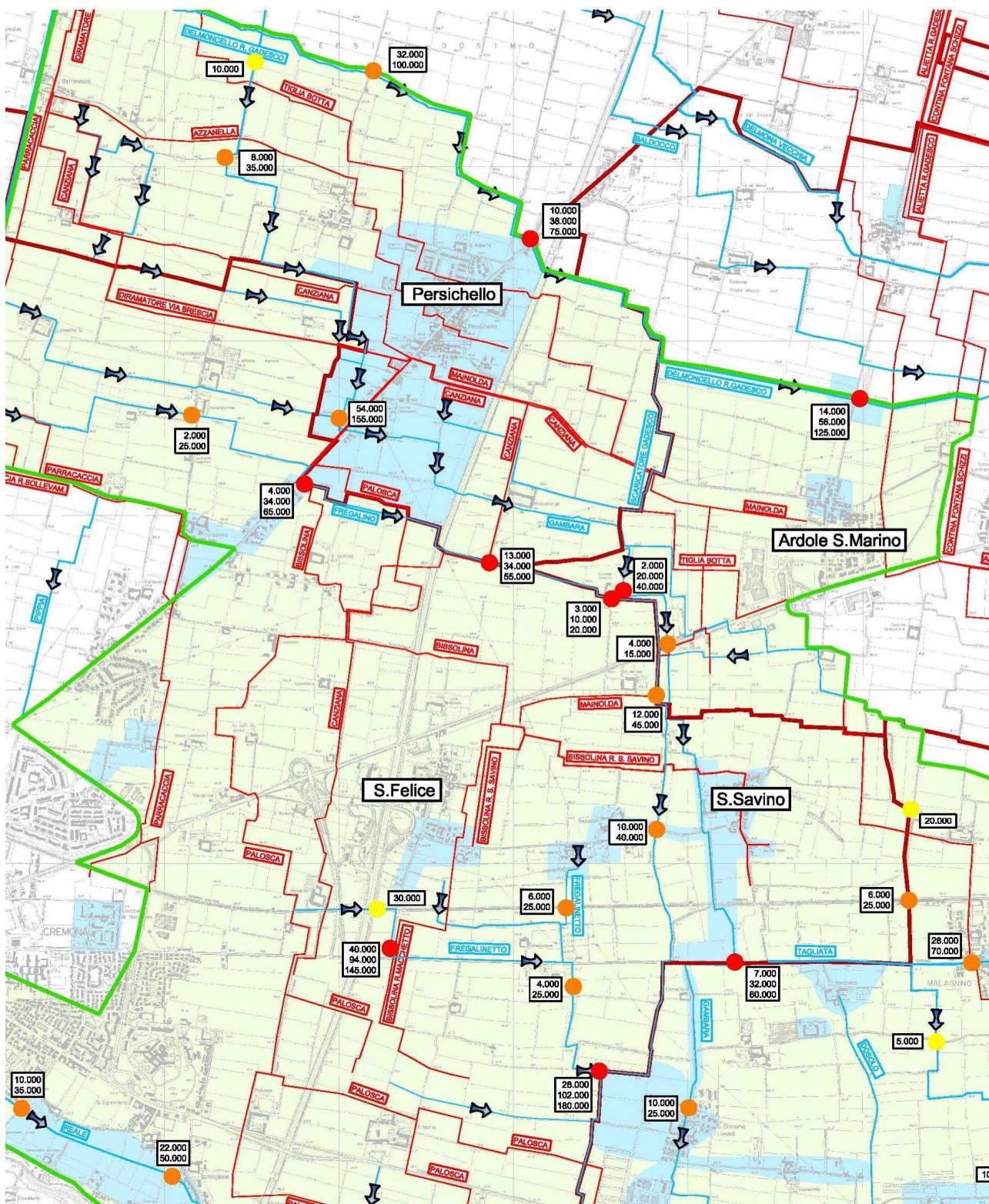


FIGURA 6-1 PLANIMETRIA DI GERARCHIZZAZIONE DELLE CRITICITÀ IDRAULICHE CON INDICAZIONE DEI VOLUMI DI ESONDAZIONE PER DIVERSI TEMPI DI RITORNO



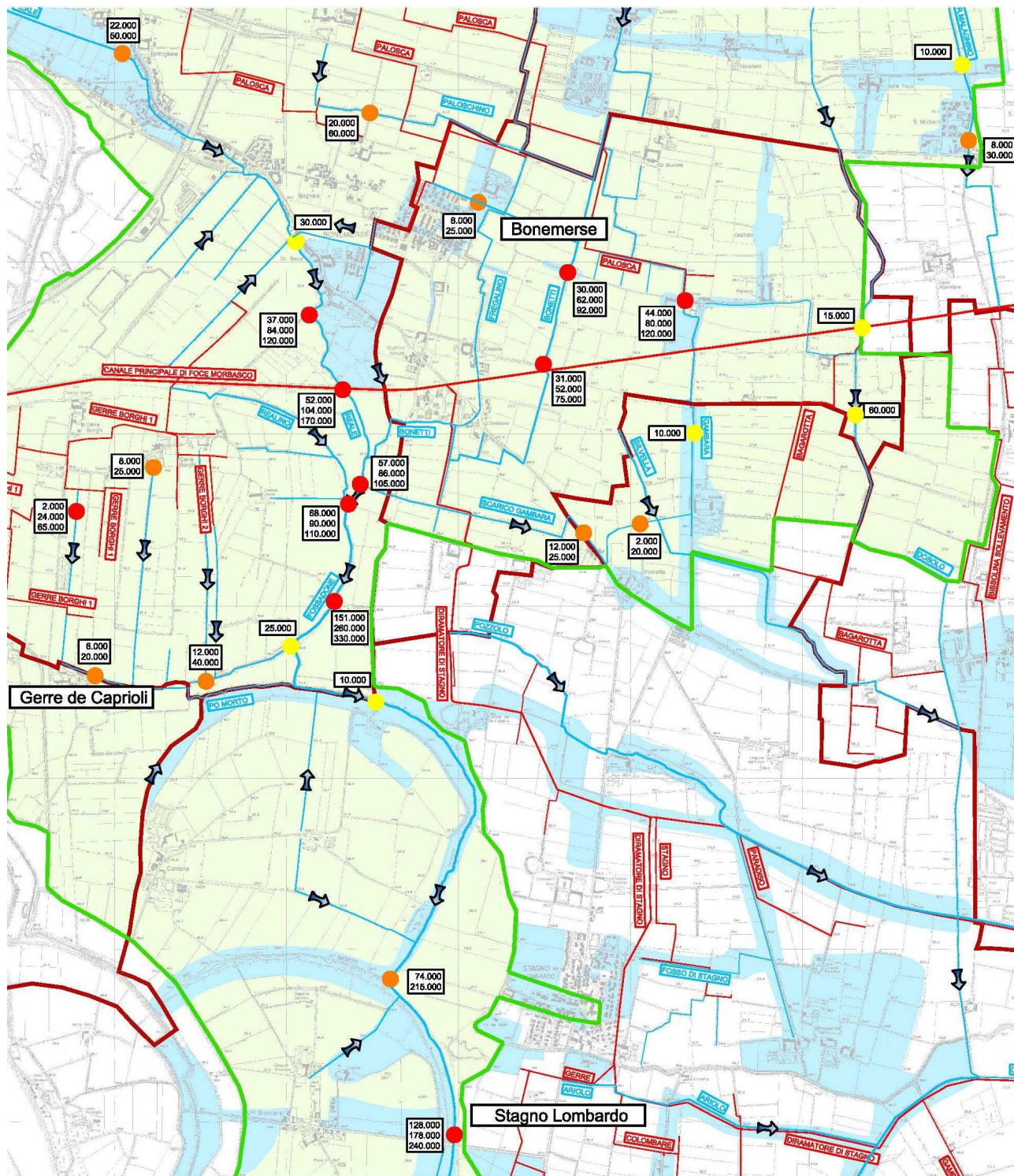


FIGURA 6-2 FIGURA 6-3 PLANIMETRIA DI GERARCHIZZAZIONE DELLE CRITICITÀ IDRAULICHE CON INDICAZIONE DEI VOLUMI DI ESONDAZIONE PER DIVERSI TEMPI DI RITORNO



---

## 7 INDICAZIONI PER LO SVILUPPO URBANO SOSTENIBILE IN TERMINI DI RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO

---

Il forte sviluppo urbanistico e produttivo che ha interessato il territorio lombardo nell'arco degli ultimi 20 anni, sommato alla progressiva tendenza evolutiva climatica che fa registrare eventi pluviometrici sempre più brevi e intensi, hanno contribuito all'aumento esponenziale delle situazioni di criticità idraulica. Se da un lato gli interventi strutturali mitigano il rischio idraulico, spostandolo nel tempo o nello spazio, dall'altro richiedono ingenti sforzi economici che spesso non riescono a stare al passo con le problematiche che periodicamente, a seguito di un evento pluviometrico intenso, emergono sul nostro territorio. Usando una semplice metafora gli interventi strutturali rappresentano la medicina che serve per curare una malattia. Quello che cercheremo di descrivere nel presente capitolo invece è finalizzato a prevenire la malattia o quanto meno a ridurre l'impatto sul territorio.

Ecco quindi che in questo senso, gioca un ruolo fondamentale la pianificazione territoriale sia a livello comunale (PGT) che sovraordinato. Particolare riferimento nel campo della prevenzione dal rischio idrogeologico lo costituiscono il PTCP (Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale) redatto a livello provinciale e il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico redatto dall'Autorità di Bacino del fiume Po.

Per questa ragione deve essere proprio il PGT ad impartire un modello comportamentale attraverso la definizione di vincoli e criteri progettuali capaci di sostenere uno sviluppo sostenibile anche dal punto di vista idrologico e idraulico.

### 7.1 INDIVIDUAZIONE DEI CRITERI GENERALI FUNZIONALI ALLA MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO

---

Nella consapevolezza che tutto il territorio della pianura cremonese è fragile e vulnerabile da un reticolo idrografico per lo più artificiale e comandato dall'uomo, si debbono, necessariamente impartire regole e criteri precisi, rigidi e vincolanti da concretizzare attraverso le Norme di Attuazione degli stessi strumenti urbanistici in questione. Ciononostante pur con tutte le buone intenzioni, queste indicazioni, potrebbero non essere sufficienti se, a monte in aree governate da altre Amministrazioni, non venissero rispettate altrettante e rigide regole del governo del territorio. L'Ente coagulante di queste iniziative dovrà pertanto coordinare le impostazioni dell'uso del suolo, affinché la risposta idraulica di quel territorio non sia devastante per i territori di valle e soprattutto non vanifichi quanto fino ad oggi speso e realizzato. Si delinea quindi l'esigenza di tracciare questi Criteri Generali che verranno poi meglio approfonditi attraverso la sequenzialità degli ulteriori passaggi urbanistici, quale strumento non solo di vincolo ma



anche e soprattutto di indirizzo.

In sintesi, si elencano, di seguito, alcuni dei Criteri Generali funzionali alla mitigazione del rischio idraulico, individuati collegialmente e di cui si è più volte discusso durante le conferenze organizzate, in questi ultimi anni, da AEM S.p.A. dedicate alla mitigazione del Rischio Idrogeologico. Tali indicazioni, per buona parte, sono contenute nel Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico ed approvate dall'Autorità di Bacino del Fiume Po con Deliberazione n. 1/99 in data 11/05/1999 e successivamente con D. P. C. M. del 24 maggio 2001:

1. **Invarianza della Portata.** Per tutte le aree soggette a cambio di destinazione d'uso del suolo, è auspicabile che la portata in uscita dal comparto così urbanizzato, sia inferiore o uguale a quella generata dal campo agricolo precedente al cambio di destinazione d'uso. Per tale motivo i nuovi interventi di urbanizzazione e di infrastrutture, dovrebbero prevedere sia a livello locale che eventualmente accorpato, la realizzazione di adeguati accorgimenti di laminazione, tramite invasi temporanei delle precipitazioni meteoriche compreso l'eventuale trattamento delle acque di prima pioggia nei casi previsti dalla legge.
2. **Impostazioni di quote e franchi di rispetto.** Si tratta di vincoli fisici che potrebbero essere assunti caso per caso in funzione del locale grado di rischio alla sommersione provocabile da tracimazioni dei canali di scolo o rigurgiti dalla rete di collettamento delle acque piovane:
  - **Vietare locali interrati e seminterrati.** Questo vincolo si dovrebbe estendere per buona parte di tutto il suolo comunale, in considerazione della pensilità di quasi tutti i corsi d'acqua che attraversano il territorio. Nel caso in cui si volessero comunque realizzare questi vani, allora diventerebbero vincolanti sia forme assicurative che dichiarazioni, da apportare in sede del titolo abilitativo, di manleva della Responsabilità di allagamento sia per l'Amministrazione Comunale che per gli Enti preposti per la gestione ed il governo delle acque;
  - **Quote piani di calpestio,** il piano terra di tutti i nuovi fabbricati si consiglia venga posizionato ad un'altezza maggiore di 20-30cm rispetto l'asse stradale;
  - **Impianti tecnologici,** tutti gli impianti tecnologici (quali cabine ENEL, impianti di riscaldamento, ecc) si consiglia che siano posizionati ad un'altezza maggiore uguale di 50 cm rispetto l'asse stradale;
  - **Distanze di rispetto dai corsi d'acqua.** Per consentire gli interventi di manutenzione con i mezzi meccanici sul reticolo idrografico di bonifica si dovrebbe imporre una fascia di rispetto assoluto della larghezza di 5 m, che arriva sino a 10 m per quanto riguarda le nuove costruzioni, come già previsto dal R.D. 8/5/1904, n. 368 e 25/7/1904, n. 523, e art. 14 comma 7 delle NTA del PAI,





adottato con delibera del Comitato Istituzionale n.18 in data 26 aprile 2001, misurati dal ciglio della scarpata del canale o dal piede lato campagna dell'argine;

3. **Parere vincolante di merito in sede di Conferenza dei Servizi per l'approvazione del PGT**, da parte degli Enti preposti per il governo e la gestione delle acque che esprimeranno parere vincolante e prescrittivo sui cambi di destinazione d'uso del suolo, introducendo, nel contempo, criteri funzionali alla mitigazione del rischio, alla progettazione degli attraversamenti e vincoli quantitativi allo scarico;
4. **Per tutte le aree** suscettibili ad essere edificate e per tutte quelle in ampliamento edificatorio, sarebbe auspicabile che la pratica edilizia fosse accompagnata da uno studio di compatibilità idraulica capace di assicurare il mantenimento o il miglioramento delle condizioni di drenaggio superficiale, l'assenza di interferenze negative con il regime delle falde freatiche presenti e con la sicurezza delle opere di difesa esistenti e previste; tale studio deve inoltre dimostrare che la realizzazione degli interventi non produce effetti peggiorativi d'esposizione al rischio idraulico;
5. **Sono vietati gli interventi** nelle aree soggette a vincoli idraulici sovraordinati (PAI) e che comportino una riduzione apprezzabile o una parzializzazione della capacità di invaso;
6. **Riutilizzo delle acque piovane.** Si potrebbe prevedere di potenziare e progettare le vasche di laminazione o i dispositivi di raccolta delle acque piovane, anche con funzioni d'utilizzo delle stesse per l'irrigazione dei giardini o per usi dove può essere impiegata acqua di scarsa qualità, in alternativa ad acque pregiate idropotabili. Quest'opportunità in linea con gli indirizzi programmatici regionali e nazionali, oltre a raggiungere il precipuo obiettivo del risparmio idrico, consentirebbe di conferire, agli stessi invasi di laminazione e di raccolta, anche una valenza ambientale di sostanziale importanza.

## 7.2 IL CRITERIO DELL'INVARIANZA DELLA PORTATA

Lo sviluppo edilizio e più in generale il cambio di destinazione d'uso del suolo, provoca da un lato la forte riduzione della capacità filtrante del terreno e dall'altro un abbassamento del tempo di formazione del colmo di piena. Questi importanti parametri agiscono fortemente sull'idrologia di un territorio e quindi sulla risposta del suolo alla sollecitazione pluviometrica.

Il criterio dell'invarianza della portata è una metodologia che ha lo scopo di colmare questo squilibrio ambientale, imponendo che la portata in uscita dal comparto urbanizzato sia inferiore o uguale a quella generata dal campo agricolo (coltivato, non coltivato, bosco ec..) ovvero dal suolo in funzione della destinazione d'uso precedente al cambio.



Per attuare lo scopo prefissato occorre realizzare degli invasi di laminazione che siano capaci di immagazzinare la maggiore quantità d'acqua proveniente per effetto della variazione sull'uso del suolo, per poi rilasciarla nel tempo, con portate analoghe a quelle di un terreno agricolo coltivato.

In funzione dell'importanza dell'opera da realizzare, ma soprattutto in base all'impatto provocato dall'intervento urbanistico, si possono realizzare degli invasi su scala locale, per singolo edificio, attraverso il sovradimensionamento delle tubazioni con scarico a bocca tarata (Figura 7-1) o invasi a più ampia scala, per esempio per nuove lottizzazioni realizzando delle aree verdi attrezzate, campi da calcio, e più in generale aree verdi a quota ribassata (Figura 7-2 e Figura 7-3).

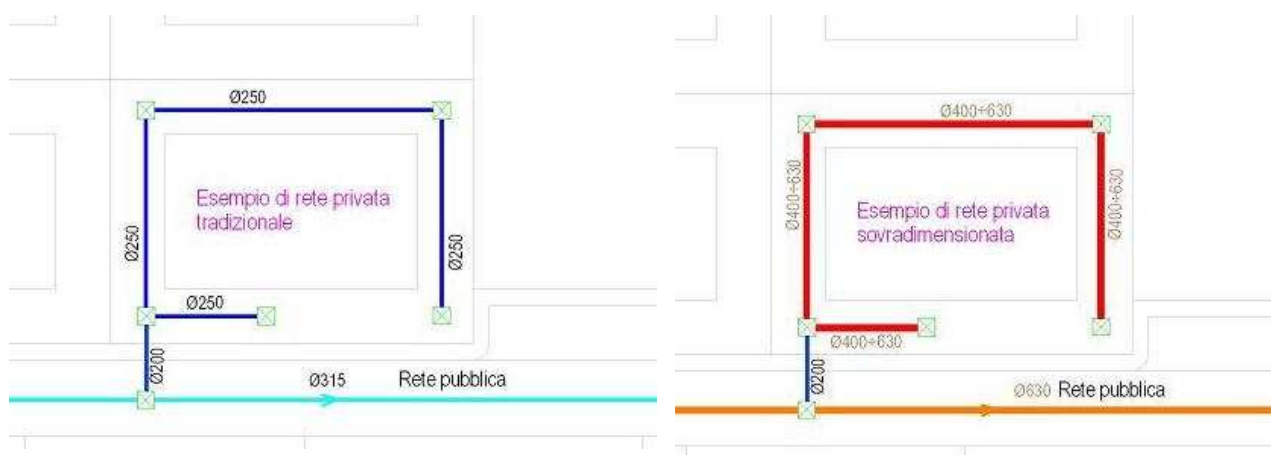


FIGURA 7-1 ESEMPIO DI SOVRADIMENSIONAMENTO DI TUBAZIONI CON BOCCA DI USCITA TARATA PER LA CREAZIONE DI UN INVASO DI LAMINAZIONE SU SCALA LOCALE (SINGOLO LOTTO)

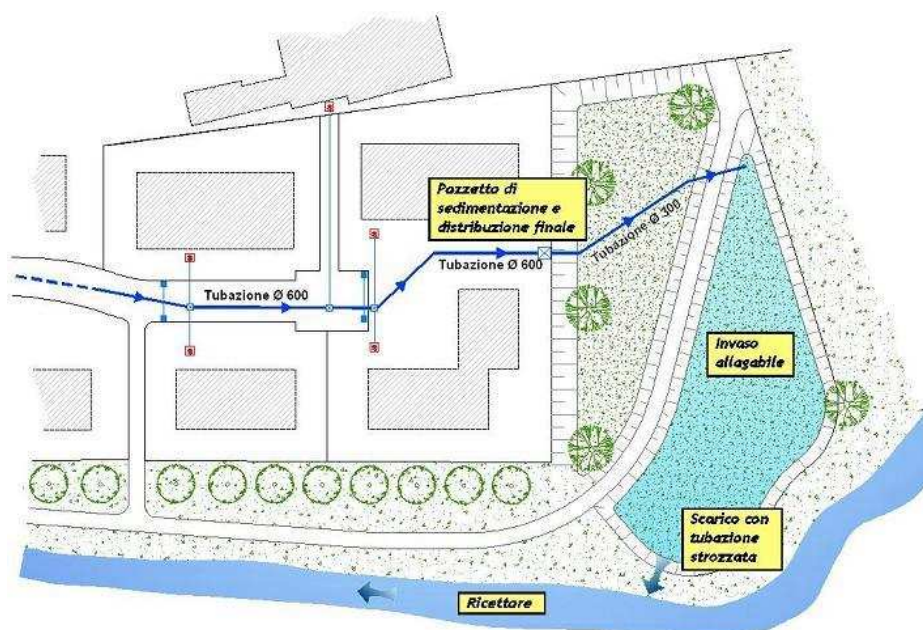
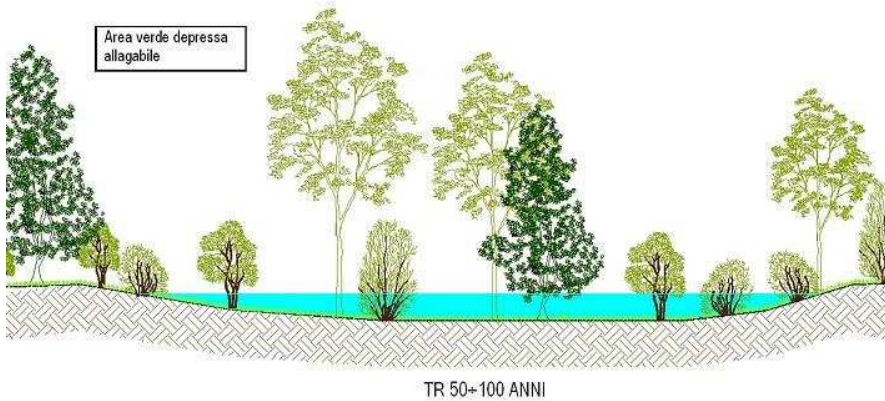


FIGURA 7-2 AREE VERDI DEPRESSE UTILIZZATE COME INVASI DI LAMINAZIONE NEL CASO DI LOTTIZZAZIONI



**FIGURA 7-3 SEZIONE DELL'AREA VERDE UTILIZZATA COME INVASO DI LAMINAZIONE, IL TIRANTE IDRICO MASSIMO NON DEVE SUPERARE IL VALORE DI 1 M NEL CASO DI EVENTI PLUVIOMETRICI CON TEMPO DI RITORNO PARI A 100 ANNI**

Questi ambienti potrebbero rappresentare, inoltre, anche invasi per le acque di seconda pioggia scolmate da fogne di tipo misto. In questi casi però l'area dovrà essere opportunamente conterminata e possedere una valenza di zona umida.

Si otterrebbe così un ulteriore indubbio vantaggio legato all'

abbattimento delle sostanze organiche contenute nelle acque di scolo. Infatti l'azione combinata tra le specie vegetali ed i batteri eterotrofi comporta un aumento del processo fitodepurativo delle acque. Si tratta in definitiva di coniugare allo scopo di laminazione idraulica anche quello ambientale sulle acque.

E' compito del PGT, in definitiva, definire questi criteri e vincoli di impostazione al fine di ridurre il rischio idraulico e far convivere la necessità di sviluppo del territorio con la sua salvaguardia.

Parma li 28.05.2012

**STUDIO TELO' surl**  
Largo 24 agosto 1942, 33/A - 43100 Parma  
Tel./Fax 0521 - 292795  
Cod. Fisc. e Part. IVA 02229670340  
studiotelo@studiotelo.it  
www.studiotelo.it